# الطاقة الذرية

## واستعمالها في السلم

تأليف

جرالدوندت

ترجمة

د. محمد الشحات

مراجعة

د. إبراهيم حلمي عبد الرحمن

الكتاب: الطاقة الذرية واستعمالها في السلم

الكاتب: جرالدوندت

ترجمة : د. محمد الشحات

مراجعة : د. إبراهيم حلمي عبد الرحمن

الطبعة: **2018**

الناشر: وكالة الصحافة العربية ( ناشرون)

5 ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة

جمهورية مصر العربية

هاتف : 35825293 – 35867576 – 35867575

فاكس : 35878373

**http://www.apatop.com E-mail: news@apatop.com**



دار الكتب المصرية

فهرسة إثناء النشر

جرالدوندت

الطاقة الذرية واستعمالها في السلم / جرالدوندت

– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.

**106** ص، **18** سم.

الترقيم الدولى: **1 – 627 – 446– 977– 978**

أ – العنوان رقم الإيداع : **25718 / 2018**

# الطاقة الذرية
## واستعمالها في السلم

وكالة الصحافة العربية
«ناشرون»

هذه ترجمة لكتاب:

**Nuclear Energy And Its Uses In Peace**

**GERALD WENDT**

**UNESCO And Its Programme**

## تقديم

تولت هيئة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة (اليونسكو) نشر هذا الكتاب عام 1955م بمناسبة عقد المؤتمر الدولي للطاقة الذرية وتطبيقاتها السلمية، الذي دعت إليه هيئة الأمم المتحدة في صيف عام 1955م

في مدينة جنيف، ذلك المؤتمر الذي يعتبر حدثاً فريداً في تاريخ العلم، وفي تاريخ السياسة أيضاً، أما من ناحية العلم فقد اجتمع فيه ما يقرب من الألف من أكبر علماء العالم، من حوالي ثمانين دولة مختلفة، وعقدوا جلسات متتالية عرضوا فيها ما توصلوا إليه من معرفة في مجال الطاقة الذرية بمختلف فنونها وفروعها، بعد انقطاع طويل استمر أكثر من خمسة عشر عاماً، وقد كشفت مداولات المؤتمر وبحوثه عن نتائج علمية وفيرة جمعت فيما بعد في 16 مجلداً ضخماً، نشرتها هيئة الأمم المتحدة بمختلف اللغات الدولية.

أما من الناحية السياسية فقد كانت الحكومات مشتركة في المؤتمر اشتراكاً رسمياً بوفود من صفوة علمائها، وكانت البحوث والدراسات تقدم باسم الحكومات، وليس باسم الأفراد، وهذا فتح جديد في المؤتمرات العلمية ودليل على أن العلم قد أصبح له من المكانة في أمور الحكم والسياسة، ما يدفع الحكومات إلى أن تفرض على علمائها الرقابة، وتحيط

معلوماتهم واختراعاتهم بالسرية والكتمان، ثم لا تنشر من هذه المعلومات إلا بقدر محدود وبعد اتفاق دولي.

وقد كان الهدف الذي دعا اليونسكو إلى الاشتراك في هذا المؤتمر وكذلك إلى تأليف هذا الكتاب ونشره، هو إشاعة المعرفة عن الطاقة الذرية وتقريبها إلى الجماهير، بما يؤدي إلى تفهم حقيقة هذا الكشف العظيم والنتائج العلمية والاقتصادية والسياسية التي ستنجم عنه، والدعوة إلى بذل الجهود نحو تعاون سلمي مثمر في هذا الميدان، والابتعاد عن التطبيقات الحربية المدمرة المخربة التي تهدد العالم كله بالفناء والدمار.

والسبيل إلى ذلك واضح في فصول هذا الكتاب الذي يبدأ بتعريف الطاقة وأنواع العقود ومصادره المتنوعة، ثم يوضح المفاعلات الذرية التي تتولد فيها الطاقة من اليورانيوم وغيره من العناصر الذرية، ثم يتابع المؤلف شرح النشاط الإشعاعي للمواد الطبيعية، وكذلك النشاط الإشعاعي التي تكتسبه المواد صناعياً بفعل الإشعاع، والتطبيقات العديدة للنظائر المشعة في الصناعة والزراعة والطب والبحوث العلمية في مختلف الاتجاهات، ويختتم المؤلف الكتاب بنظرة شاملة عن الآفاق الجديدة التي كشفت عنها الطاقة الذرية، وفتحتها أمام العلم والعالم مما سيظهر أثر التقدم فيه في السنوات القليلة القادمة.

وكثيراً ما يدور بخلدنا سؤال عما ينبغي أن يكون عليه واجبنا في مصر بشأن الطاقة الذرية؟

هل لنا أن نشارك الدول الكبرى التي تنفق مئات الملايين من الجنيهات على الأسلحة الذرية والقنابل الهيدروجينية والقاذفات الثقيلة، وغير ذلك من أوجه الإنفاق التي تثقل كاهل الدول الكبيرة على الرغم من عظم مواردها وضخامة ثرواتها؟

أم علينا أن نبقى كما نحن متخلفين عن هذا الركب المضطرد التقدم، إلى أن يحين اليوم الذي تفيض علينا فيه تلك الدول الكبرى بنتائج التقدم الذري، سواء في الناحية السلمية أو في الناحية الحربية، وعندئذٍ نرى ماذا نصنع بهذا الأمر في حينه؟

والحقيقة أنه لا يمكن لأي دولة تريد أن تحيا في هذا العصر الذري أن تقف مكتوفة الأيدي أمام التقدم الجارف الذي يحدث كل يوم بل كل ساعة في هذا الميدان، فمن لا يتقدم سيتأخر حتماً ويسبقه غيره ويزداد قوة.

والدول الكبرى في العالم قليلة، أما الأغلبية العظمى فهي من الدول الصغرى والمتوسطة، التي لا تصنع الأسلحة الذرية ولا القنابل الهيدروجينية، والتي لا تنفق مئات الملايين من الجنيهات على الطاقة الذرية كل سنة.

إن الدول الصغرى والمتوسطة في أوروبا وفي آسيا وفي أمريكا اللاتينية، قد انتهت جميعاً إلى أن من واجبها أن تبادر بالإسراع في الاشتراك في البحوث الذرية بالقدر الذي يتفق ومقدرتها المالية، وما لديها من علماء

متخصصين ومعدات بحث وتنقيب، وقد أعدت الكثير من تلك الدول برامج أبحاث ذرية منوعة، تشمل الكشف عن الخامات المعدنية واستخراجها، واستخدام النظائر المشعة، وأقامت المحطات الذرية للبحوث والدراسات، وإعداد الفنيين وتدريبهم في الداخل والخارج في مختلف الفروع المتصلة بالطاقة الذرية.

وهذا ما فعلته الحكومة المصرية أيضاً، إذ أنشأت لجنة الطاقة الذرية برئاسة مجلس الوزراء واعتمدت برنامجاً لها تبلغ نفقاته مليوناً من الجنيهات، يتضمن إنشاء وحدات للنظائر المشعة، ومعامل للطبيعة النووية، ومفاعل تدريبي للبحوث والدراسات الذرية، وإعداد **150** من المصريين المتخصصين في نواحي الطاقة الذرية المختلفة، ويسير العمل قدماً في تنفيذ هذا البرنامج، والمأمول أن يتم ذلك في غضون عام **1958**م .

وقد رأت الإدارة العامة للثقافة بوزارة التربية والتعليم، أن تعنى من ناحيتها بنشر الثقافة العلمية عن الطاقة الذرية بين جمهرة المتعلمين والمثقفين في البلاد العربية حتى يفهم هذا الكشف الجديد على حقيقته، بما يؤدي بإذن الله إلى تقدم كبير في الإفادة منه في الأغراض السلمية، وقد اختير الكتاب الذي أعدته هيئة اليونسكو لمؤتمر جنيف العالمي ليكون أحد الكتب المترجمة، ويسرنا أن نقدم هذا الكتاب إلى القارئ العربي، آملين أن تعم به الفائدة وأن تتلوه كتب أخرى في هذا الموضوع الدائم التقدم والاتساع.

القاهرة في يونيو **1956**

د. إبراهيم حلمي عبد الرحمن

د. محمد الشحات محمد

# الباب الأول

# الطاقة

## مقدمة:

**لعل الحقيقة التي تنفرد بها القنبلة الذرية كسلاح – إذا ما بدأنا الحديث بهذا الموضوع غير المشوق، لنفهم غيره من المواضيع المشوقة– هي أنها تحوي كمية هائلة من الطاقة في حيز صغير جداً،**

**تنبعث منه تلك الطاقة بسرعة هائلة، ففيها تتمثل الطاقة المركزة التي تزيد عن أي شيء من الطاقة سبقت معرفته عدة ملايين من المرات، وليست كمية الطاقة الكلية في القنبلة بأكبر مما استخدمه الإنسان أو أحس به في أشكال الطاقة الأخرى، فهي تعادل بضع آلاف من أطنان الفحم، كما أن كمية أكبر من تلك الطاقة تنبعث من العواصف الرعدية، والطاقة الشمسية التي ترفع ملايين الأطنان من ماء البحر إلى السحب العالية في السماء، تفوق تلك الطاقة إلى درجة لا يمكن قياسها، ولكن الطاقة في كل تلك الصور موزعة منتشرة رقيقة، أما في القنبلة فتتركز الطاقة في بضعة أرطال من المواد "الذرية" ثم سرعان ما تنتشر فجأة وتتحرر في مساحة صغيرة جداً وفي لحظة خاطفة من الزمن، وهذا هو ما يلزم في أي انفجار، ولكن هذا أسرع وأقوى الانفجارات كلها على الإطلاق.**

ولكن هذه الإفادة السريعة من الطاقة المركزة أمر نادر غريب، مقصور على الإفناء في زمن الحرب فللانفجارات الأخف استعمالات سلمية في قطع الحجار أو شق الخنادق، أو تطهير الممرات المائية للسفن، وحيثما لزمت الطاقة المركزة لفك التماسك الشديد بين أجزاء الصخور الصلدة، أما في الحياة المعتادة فليس للطاقة المركزة أي أهمية؛ لأن الكمية والتوافر والثمن عوامل مهمة، أما سرعة انطلاق الطاقة فليست كذلك، فتكفي نار المدفأة أو الفرن لتدفئة المنزل أو شي الدجاج ولو ظلت مشتعلة ساعات وساعات، كذلك تنقل آلة السيارة طاقة الوقود إلى العجلات بسرعة أو ببطء حسب حالة المرور وعجلة السائق، ولكن هذا لا يحدث أبداً في ثوانٍ، وإنما في دقائق وساعات، فالحياة اليومية السلمية تحصل على طاقتها ببطء، ومن كميات صغيرة من الوقود، لا من المفرقعات، وهذا هو الفرق بين الحرب والسلم، وهذا كتاب سلمي، فلن نحتاج فيه للتفكير في القنبلة الذرية مرة أخرى.

وتكييف الطاقة الذرية للتطبيقات السلمية يعني إنتاج وقود ذري، وتوفيره للصناعة، وللحياة في المدن وفي المنازل، وفي المزارع فالمعضلة ليست في مدى قوة أو سرعة تلك الطاقة، بل مدى يسر الحصول عليها واستخدامها، وكيفية ذلك، ومتى يتم؟ ، وهذه هي الأسئلة التي قام العلماء بدراستها في مؤتمر هيئة الأمم للتطبيقات السلمية للطاقة الذرية، في جنيف في أغسطس من عام 1955م، والإجابة على هذه الأسئلة ليست واضحة فهي تحتاج إلى دراسة الخبراء، واليوم لا يستطيع الإجابة عليها إلا عدد قليل نسبياً من الأخصائيين، ويرجع ذلك جزئياً إلى أنها تشمل حقائق

ومبادئ لم تكن معروفة منذ عشر سنين أو عشرين عاماً، ولذلك لا تشملها الكتب العلمية المدرسية، ولكن ذلك يرجع جزئياً أيضاً إلى أن كثيراً من تلك المعلومات الجديدة اكتشفت وطبقت في فترة من فترات التوتر الدولي، كانت السرية هي السياسة الغالبة خلالها، حتى بين العلماء أنفسهم مما جعل بُحّاث ومهندسي الدول المختلفة يتجهون اتجاهات ويهتمون بموضوعات متباينة، فيجب أن تتحد لتكون صورة عالمية كاملة.

وبالإضافة إلى ذلك نجد المنتجات الثانوية للمفاعلات النووية: مئات من العناصر والكيماويات المشعة المسماة "بالنظائر" التي أصبح لها فعلاً الآلاف من التطبيقات في الطب والزراعة والصناعة، بفضل الأشعة المميزة التي تنبعث منها، ولقد وفرت تطبيقاتها في الزراعة والصناعة –على الرغم من تحديد الكميات المخصصة منها لها– ملايين كثيرة من الدولارات، أما التقدم الذي أدت إله في ميادين الطب وعلوم الحياة فلا تقدر قيمته بمال، وسيزداد إنتاجها وتقل أثمانها كلما بدأت الأفران النووية تعمل لإنتاج الطاقة السلمية، وقد يثبت أن نفع تلك المنتجات المشعة للإنسانية يعادل الطاقة النووية نفسها، ولكن تطبيقاتها اليوم مازالت في المهد مبعثرة في مئات من المعامل ومستشفيات البحوث في شتى أنحاء العالم، ويجب أن يتم تفهم إمكانياتها وأساليب استخدامها في العلوم المختلفة لكي تكمل الإفادة منها، ولقد كان هذا جزءاً هاماً من مؤتمر جنيف.

ولرعاية هيئة الأمم المتحدة لهذا المؤتمر دلالة خاصة، فلقد أدت الاتصالات الودية العديدة التي تمت بين أمم الأرض خلال السنين العشرة

الماضية إلى تماسك المنظمة العالمية، التي تعد العدة الآن لتنمية الطاقة الذرية التي هي مصدر هائل جديد من مصادر الثروة العالمية، وسيؤدي تتابع استخدامها بمضي الوقت إلى رفع مستوى المعيشة، وتحسينها حتماً في جميع أنحاء العالم، وقد أظهرت أمثال تلك المصادر في الماضي، وخاصة عند اكتشاف أمريكا واختراع الآلة البخارية، ولكن لم يحدث قبل الآن أن قام العالم كله بدراسة تلك المصادر معاً مقدماً، فهذا إيذان بعهد جديد.

وعلى هذا فاهتمام الجماهير بمناقشات مؤتمر جنيف اهتمام سليم محق؛ لأنها ستؤثر عاجلاً أو آجلاً في حياة الجميع، ولكنها مناقشات بلغة العلم، بل بلغة العلوم الذرية الجديدة حقاً، وهي لغة مليئة بكلمات لا تعني شيئاً بالنسبة للرجل العادي في أي بلد من بلاد العالم، وحتى لو فسرت بلغة الجرائد والإذاعة فإنها تظل محيرة، ورغم هذا فهذا الشكل الجديد للطاقة قوة اجتماعية، لا يمكن تركها كلها للعلماء، فيجب أن تهيمن الشعوب على تطبيقاتها لتوجه من أجل الشعوب، ولذلك يرغب المفكرون في كل بلد في فهمها، وهذا يعني أنهم يجب أن يبذلوا بعض الجهد لدراستها.

وهيئة اليونسكو توضح بعملها السبل الدولية للتربية والعلوم والثقافة وتحددها، وهذا الكتاب دليل يرشد القارئ إلى الأرض الجديدة، أرض الطاقة الذرية المكتشفة حديثاً، وهي أرض تضاريسها حقائق علمية، والسائر فيها يتبع طرقاً تعليمية.

## ما هي الذرة؟

إن الكتب العلمية المبسطة التي عالجت موضوعاً محدداً تشبه من ناحية واحدة كتب الإرشاد والإدلاء، ذلك أنه من المستحيل أن يقدر المؤلف إلى أي حد وصلت معرفة القارئ فعلاً عن ذلك الموضوع، فأكثر قراء أي "دليل" قد لا يعرفون أي شيء عن تلك الأرض الغريبة، وقد يكون بعضهم قد قام برحلة سريعة فيها وعرفوا معالمها الرئيسة، وقد يكون آخرون قد زاروها عدة مرات، ولكنهم يرغبون في الرجوع إلى خريطة الطرق لتبين التفاصيل، أو يرغبون في معرفة أحدث التغييرات والتطورات، وأفضل حل لهذا أن يكتب "دليل" منفصل لكل مجموعة من القراء، إذ لو وضع دليل واحد للجميع، قد يجعل المسافر الخبير يمل من أشياء يعرفها فعلاً، أو – على العكس من ذلك– قد يحير المستجد بترك الحقائق الأولية، ولما كان الناس أغراباً على دنيا العلم، فإن الكتاب العام يؤلف من أجلهم، أما بقية القراء فيستطيعون تخطي الأجزاء التي يعرفونها فعلاً، كما يفعل كل إنسان بأي "دليل" ولذلك كله يحسن البدء من البداية.

الطاقة شيء يصعب تعريفه، والحق أنها ليست شيئاً على الإطلاق إذ لا توجد في شكل متماسك كالمادة، ولا تحتل أي فراغ أو تلقي أي ظلال، وباختصار فهي ليست مادة ككل الأشياء، وبدلاً من ذلك فهي أساس الأفعال، وتدخل في كل حركة، وفي كل حدث، وفي المعتاد لا توجد في شكل نقي منفصل، ولكنها دائماً مرتبطة بشيء أو جسم مادي أو

محتواه فيه، فالكرة المقذوفة لها طاقة بفضل حركتها، وإذا اصطدمت بكرة أخرى، وحركت تلك الكرة فإنها تعطي جزءاً من طاقتها للكرة الثانية.

وتوجد الطاقة في أشكال عديدة منها الحركة المرئية، فالبخار المضغوط له طاقة في شكل حرارة، وهذا يعني أن جزيئات الماء وهي الجسيمات الصغيرة التي يتكون منها البخار تتحرك حركة سريعة، وعندما يتمدد البخار في آلة ويدفع مكبساً، فإنه يبرد ويفقد طاقة حرارية تتحول إلى طاقة الحركة الميكانيكية في الآلة، وقد تدير الآلة مولداً كهربائياً وبذلك تحرك الإليكترونات فتولد طاقة كهربائية في صورة تيار كهربائي، وهذا بدوره قد يستخدم لإدارة محرك، حيث تصبح الطاقة "ميكانيكية" مرة أخرى، أو قد تمر الكهرباء خلال سلك حيث تتحول إلى حرارة مرة أخرى، وإذا ارتفعت درجة حرارة السلك بدرجة كافية، فإنه يتوهج ويشع عنه جزء من طاقته في صورة طاقة ضوئية، ويبدو أن الضوء أنقى صور الطاقة لأنه لا يرتبط بجسيمات مادية بالمعنى المعتاد، ولكنه يتألف من تيار من جسيمات أثيرية تسمى "الفوتونات" هي التي تدخل أعيننا مباشرة لتثير إحساسنا بالنور.

وتتولد في الشمس كميات هائلة من الضوء أو الطاقة المشعة، وتسري خلال الفضاء بسرعة 176.000 ميل في الثانية حتى تصطدم بالأرض، وتحول طاقتها إلى حرارة عندما وحيثما تصطدم بها، ولكن الأوراق الخضراء تتميز وحدها من بين مواد الأرض بامتصاص طاقة الضوء واستخدامها في إتمام تفاعل كيميائي، وفي هذا التفاعل تنزع بعض ذرات

الأكسجين، من غازين من الغازات التي توجد في الهواء الجوي – وكذلك في الأوراق– بعد أن تتحرر الذرات منفردة بقوة، ثم تتحد معاً لتكوين كيماويات معقدة هي التي تصبح مادة النبات، ففي التفاعل يتحد غاز ثاني أكسيد الكربون (من الهواء) مع الماء (من الهواء والأرض) ليكونا السكريات والنشويات والسليلوز، ففي كل عام تصنع أشعة الشمس للإنسان حوالي 10000 مليون طن من الخشب المكون أساساً من السليلوز – عدا مئات الملايين من الأطنان من القمح والأرز والأطعمة الأخرى، وهي مكونة أساساً من النشا، وهذه المنتجات تحوي الطاقة في شكل آخر، فهي طاقة كيميائية، وهي ليست طاقة حركة، ولكنها تستقر في الروابط الكيماوية المتينة التي صقلها النبات الحي من أشعة الشمس، ليربط بها الذرات التي تتألف منها جزيئات السليلوز والنشا معاً ربطاً محكماً، والطاقة الكيماوية طاقة مختزنة، تشبه إلى حد ما طاقة المرونة التي تختزن في زنبرك عندما "يملأ" ويلف لفاً محكماً بواسطة قوة خارجية.

وأفضل تعريف لمثل هذه الأشكال من الطاقة هو المقدرة على أداء العمل، فقد تختزن غير مرئية في زنبرك، أو في وقود أو في جليد مكوم فوق الجبال، ولكن يمكن تحريرها لتوليد الحركة أو الحرارة أو الكهرباء، لتؤدي الأعمال اللازمة للإنسان، فمن الناحية الفنية نجد أن الطاقة هي التي تؤدي العمل، فقدرة العامل أو الآلة لا تقاس بكمية العمل، ولكن بمعدل إنتاجه، فالأكثر قدرة هو الأسرع عملاً، فالعمل الكلي يتوقف على كمية الطاقة المبذولة، والسرعة التي ينفق بها العمل هي قياس القدرة.

**الوقود:**

يجب أن تحرر الطاقة الكيماوية عندما تضعف الربطات الكيماوية بين جزيئات المادة، كما يحدث للطاقة المختزنة في الزنبرك الملفوف "المملوء" ، ويسهل انبعاث الطاقة الكيميائية من المواد النباتية بتسخينها، فالتسخين معناه رفع درجة الحرارة، وهذا يعني ذبذبة الجزيئات وحركتها، وهذا نفسه يضعف الروابط التي تمسكها معاً فتتحول إلى أبخرة وفحم، ولكن إذا حدث هذا في وجود أكسجين الهواء فإن الأبخرة تتمدد كيماوياً مع الأكسجين ليتكوّن ثاني أكسيد الكربون والماء مرة أخرى، وبمعنى آخر فإن إشعال منتجات نباتية بعود ثقاب يولد النار، فتلتهب وتأتي حرارة اللهب من الطاقة الكيماوية المختزنة، التي أتت بدورها أصلاً من الشمس، وقد بينت التقديرات الدقيقة للطاقة الحرارية المتولدة في عملية الاحتراق، أنها تساوي تماماً كمية الطاقة الضوئية التي استخدمها النبات لإنتاج المواد التي احترقت، وعلى هذا فالوقود مخزن كيماوي للطاقة تختزن فيه حتى يستخدمها الإنسان.

ولقد كان الخشب الوقود المألوف حتى للسكك الحديدية، وما زال كذلك في بعض بقاع الأرض، ولكن الصناعة الحديثة تقوم على الفحم، وهو عبارة عن خشب متحجر نما في مستنقعات البلاد الحارة منذ عدة آلاف من السنين، ثم مات وتحلل وضغط تحت طبقات التراب والرمل التي أصبحت أحجاراً بمرور القرون العديدة، وعلى ذلك فما يزال الفحم يحوي

الطاقة المختزنة كيماوياً الناشئة من الأشعة الشمسية التي سقطت عليه شجراً منذ آلاف السنين، والفحم أقيم من الخشب كوقود صناعي لأنه مضغوط ومركز بدرجة أكبر منه، ويحوي قليلاً من الماء والهواء، وبذلك ينتج كل رطل منه كمية من الطاقة أكثر مما ينتجه رطل من الخشب، وهذا ينطبق على البترول، وهو من مخلفات النباتات والحيوانات البحرية التي تحللت وتركزت بعيداً تحت البحار القديمة، وكلا هذين الوقودين قيمان نظراً لمحتواهما من الطاقة؛ لأنه يسهل نقلهما إلى أطراف الأرض، ولأنه يمكن استخراج ما بهما من طاقة حينما وعندما يلزم استخدامهما بالضبط، ففي حالة البترول مثلاً تحرق قطراته قطرة قطرة في السيارة، بحيث لا يضيع منه شيء.

## الأغذية:

تعتبر الأغذية من الناحية الكيماوية كالوقود؛لأنها تمد جسم الحيوان بالطاقة اللازمة لنشاطه، صحيح أنها تمده أيضاً بمواد لنموه وإصلاح جسمه، ولكن الجزء الأكبر من كل الأغذية يحرق ليولد الطاقة، وهو لا يحترق بلهبٍ عند درجة حرارة عالية كالوقود، نتيجة للمقدرة المدهشة للجسم على إتمام الاحتراق –أو بعبارة أدق عملية الأكسدة– بدون ارتفاع في الحرارة والنشويات والسكريات، والدهنيات والبروتينات تحترق رغم هذا في الجسم تماماً كما يحترق الوقود في الآلة، فتتكسر جزيئاتها المعقدة إلى جزيئات أبسط تقابل الأكسجين الذي يحمله الدم من الرئتين، ثم تتحد معه لتكون

ثاني أكسيد الكربون والماء اللذين يطردان من الجسم، وأثناء هذه العملية تأخذ خلايا عضلات الجسم وأعصابه، هذه الطاقة وتستخدمها في أداء عملها وفي المحافظة على دفء الجسم.

وتقسم الأغذية غالباً حسب قيمة طاقتها مقاسة بالسعر، والسعر هو كمية الطاقة التي تلزم لتسخين كيلو جرام من الماء درجة مئوية واحدة، والحد الأدنى للطاقة اللازمة للمحافظة على صحة الإنسان يبلغ حوالي 3000 سعر في اليوم، ويولد رطل الخبز حوالي 1200 سعر، ورطل السكر 1800، ويحصل الجسم عما يلزمه من طاقة لأداء عمل يومي متوسط من رطلين أو ثلاثة أرطال من الطعام تبعاً لنسبة النشويات والسكريات والدهنيات فيه، ويلزم لأصحاب الأعمال الشاقة كمية أكبر من ذلك.

## الطاقة الكيميائية:

ليست الطاقة المختزنة في الأطعمة والوقود مشرّبة فيها، كما تتشرب قطعة الإسفنج بالماء؛ وذلك لأن الطاقة جزء ذاتي فيها، مبني في تركيبها، وهي التي تجعل تلك المواد على ما هي عليه، فالطاقة إذن كائنة في أبسط وأدق الجسيمات الداخلة في تركيب المادة الكيماوية، تلك الجسيمات المسماة بالجزيئات، وهي أدق من أن ترى حتى بأحسن المجاهر، وهي الأحداث التي تتألف منها المواد وكل ما يكسر تلك الجزيئات، يحلل المادة نفسها ويكسرها إلى مواد أبسط تركيباً، كما يحدث عندما يؤدي الاحتراق بالنار

إلى تكوين الدخان والرماد وثاني أكسيد الكربون والماء، أو عندما يتكون ثاني أكسيد الكربون والماء في عمليات، ويدل تحرر الطاقة على أن نواتج الأكسدة (ثاني أكسيد الكربون والماء) تحوي من الطاقة أقل مما تحتويه المواد الأصلية، وبمعنى آخر يحوي أكسجين الهواء والوقود – قبل تفاعلهما في عملية الاحتراق أو الأكسدة – كمية من الطاقة تزيد على الطاقة المحتواه في ثاني أكسيد الكربون والماء (وهما نواتج عملية الاحتراق) وينطبق هذا أيضاً على المادة الحية عند التنفس.

وتأتي الطاقة من الروابط الكيماوية التي ربطت الذرات معاً في جزيئات مادة الوقود، والواقع أن هذه الروابط تحوي إليكترونات تدور في مجالات حول نوى الذرات، كما تدور الكواكب حول الشمس، وطاقة الاحتراق أو الحياة تأتي من طاقة الإليكترونات، فعندما تتقابل الإليكترونات الخارجية لذرة كربون أو هيدروجين مع الإليكترونات الخارجية لذرة أكسجين، فإنها توحد مجالاتها في مجالات أبسط وأمتن، تحتاج إلى طاقة أقل للمحافظة على وضعهما، أما الطاقة الزائدة التي لم يعد لها الآن لزوم فتفر من "المخزن" وتصبح حرة صالحة للاستعمال، فتظهر عادة في صورة حرارة تؤدي أي عمل.

وعلى هذا فالطاقة المتكونة من كل الأطعمة والوقود ناتجة من "ذراتها" ، وهذا صحيح تماماً صحة ذلك الشكل الجديد من الطاقة المتولدة من ذلك النوع الجديد من الوقود، المسمى عادة الوقود "الذري" ، والواقع أن الطاقة الجديدة هي التي أخطئت تسميتها لأنها تأتي من باطن

الذرة العميق، من نواتها (كما هو موضوع في الباب الثاني) ، وعلى ذلك يجب تسميتها الطاقة "النووية" لهذا السبب، ولقد أسماها الكتاب والمتحدثون – في طفرة المفاجأة التي صحبت انبعاثها لأول مرة هيروشيما– بالطاقة "الذرية" ، وقد يرجع هذا إلى أن كلمة "ذرية" كانت كافية الغموض، وإلى ضآلة عدد من سمع بنواة الذرة من الناس، ولكن أي علم جديد لا يمكن أن يتجنب إدخال كلمات جديدة إلى اللغة الدارجة، ومنها كلمة "الذرة" نفسها و"الإليكترون" والآن "النواة".

ولقد أدخلت النظرية الذرية في علم الكيمياء منذ 150 عام، ولكن الذرات أمدت الإنسان بالطاقة من إليكتروناتها الخارجية منذ سخرت النار، لا بل إن الواقع أنها استخدمت في توليد الطاقية منذ أكل أولُ حيوان بحري دقيق جسيماً نباتياً أخضر ليعينه على الحياة منذ ملايين عديدة من السنين، وكل الطاقة الذرية كيماوية حقة، ولهذا سيستخدم هذا الكتاب الاسم الصحيح: الطاقة "النووية" بدل الذرية.

## الباب الثاني

# الوقود النووي

**الأسس:**

**الحقائق الأساسية التي يقوم عليها عهد الطاقة النووية الجديد هي:**

**1- في كل استخدامنا السابق للوقود والطاقة الكيماوية، كنا نعنى فقط بالهيكل الخارجي للذرة، ونسحب الطاقة من إليكتروناتها الخارجية عن طريق تفاعلات كيماوية.**

**2- تتألف كل الذرات – المجموعة الشمسية – من نواة مركزية تحوي كل المادة والطاقة الذرية تقريباً في شكل مركّزٍ جداً، ويدور حولها عدد من الإليكترونات في مدارات متباعدة، كما تدور الكواكب حول الشمس، ولكنها تترك أكثر حيز الذرة فارغاً.**

**3- لما كانت النواة تحمل جزءاً من ألف مليون من الحجم الكلي للذرة فقط، ومع هذا فتتكدس فيها كل المادة أو الكتلة، فإن هذه المادة يجب أن تكون كثيفة إلى درجة لم يعهدها الإنسان، إذ تبلغ كثافتها حداً يجعل كتلة منها (بدون الفراغ الموجود داخل الذرات) لا تزيد في الحجم عن نقطة الماء تزن 2 مليون طن.**

4- لكي تظل هذه "المادة" متماسكة تماماً معاً في كل نواة صغيرة من نوى الذرات يلزم أن يصحب هذا تركيز شديد جداً للطاقة في ذلك المكان.

5- في حالة بعض أنواع الذرات –وهي عدد قليل جداً من أكبر الذرات وأكثرها تعقيداً مثل اليورانيوم- يؤدي اصطدام النواة بقذيفة مناسبة الحجم والسرعة مثل الشعاع الكوني إلى إضعاف الروابط داخل النواة، مما يمكن أن يؤدي إلى طيران أقسام منها وتركها لها بسرعات قد تبلغ آلاف الأميال في الثانية، وهذا يعني أنها تنفصل بطاقة هائلة، وهذا يسمى الانشطار.

6- وحطام الانشطار تتألف غالباً من نوايا ذرات أصغر، تلتقط إليكترونات لتكوّن ذرات عناصر كيماوية معتادة، ولكن بعض الأجزاء وهي أصغر جسيمات مادية معروفة، ويظهر أنها هي اللبنات التي تكون نوى الذرات جميعاً، ومن هذه الجسيمات النيوترونات (التي ليست لها شحنة كهربائية) والبروتونات (التي لها شحنة كهربائية موجهة، وهي نفسها نوي أصغر وأخف الذرات، ذرات الهيدروجين)، ويجوز أن تقذف النيوترونات بدورها بسرعة هائلة تكفي لإحداث انشطار في نواة ثانية قابلة للانشطار، وبذلك يبدأ ما يسمى "التفاعل المتسلسل".

7- لو قيست كتل هذه الأقسام وجمعت فإن مجموعها يكون أقل من كتلة النواة الكبيرة الأصلية، وعلى ذلك فقد تحللت أجزاء من هذه المادة

وتحولت في الواقع إلى طاقة طبقاً لتنبؤ ألبرت أينشتين في نظرية النسبية، ومعادلته الشهيرة ط = ل $ع^2$، وهذا هو الاختزال الرياضي للقول بأن الطاقة التي تتولد من فناء كتلة معينة من المادة، تساوي تلك الكتلة (مقاسة بالجرام) مضروبة في مربع سرعة الضوء (مقاساً بالسنتيمترات في الثانية)، ولما كانت سرعة الضوء **30000** مليون سنتيمتر في الثانية، فإن فناء جرام واحد من المادة، يولد من الطاقة ما يعادل تقريباً ما يتولد من احتراق **20** مليون طن من الفحم.

ولكن تفاعلات الانشطار الحقيقية التي أمكن أداؤها الآن تفني أقل من جزء من الألف فقط من مادة النواة الذرية.

**8**– عندما يحدث هذا التفاعل النووي، ينبعث جزء صغير من الطاقة أيضاً في صورة إشعاعات تشبه الأشعة السينية ولكنها أقوى بكثير جداً منها، وتستطيع اختراق جدران سميكة من المواد الصلبة وتعرف باسم الأشعة الجيمية، وتستطيع إهلاك الخلايا الحية، وهي مصدر بعض الخطر الذي ينشأ عن إجراء التفاعلات النووية، وأخطر منها النيوترونات العالية السرعة التي تستطيع أيضاً اختراق أصلب الجدران.

**9**– يمكن الهيمنة على التفاعلات النووية في مفاعلات مبنية بطريقة مناسبة، بحيث يستمر التفاعل بهدوء وأمان، ويولد الطاقة بأية سرعة مطلوبة.

10- لذلك فالعناصر الكيماوية التي تستطيع نواتها أن تنشطر في هذه التفاعلات تعتبر نوعاً جديداً من الوقود، يستطيع توليد طاقة تزيد ثلاثة ملايين ضعف عن الطاقة المتولدة من أي وقود آخر.

**الانشطار:**

لا يسمح مجال هذا الكتاب بأكثر من مجرد تقرير للحقائق العشرة السابقة، وإن كان هذا لا يتفق كثيراً مع طرق تدريس العلوم التي لا توافق على تقرير أمثال هذه الحقائق الهامة دون أي برهان، أو حتى أي وصف لكيفية الوصول إلى تلك النتائج والاكتفاء بمطالبة القارئ بتصديق كلمات المؤلف عنها، فالعلم لا يقوم على التسلط والإملاء، وإنما يقوم على الحجة التي تقنع كل من يسعى للبحث عن الحقيقة، وتؤدي إلى اتفاقهم جميعاً، والحجج التي أدت إلى كل تلك الحقائق موجودة فعلاً، ولكن يجب الرجوع إليها في الكتب الكبرى، أو ملاحظتها في معمل من معامل الطبيعة، ويستطيع الطلبة وطلبة المستقبل أن يفعلوا ذلك، ولكننا يجب أن نبدأ هنا في تتبع النتائج وبحث التفاصيل الهامة الأخرى.

فمثلاً نجد أن من الحقائق الهامة في إمكانيات تعميم استخدام الطاقة النووية أن تفاعل الانشطار نادر جداً، فهو مقصور فقط على بعض قوى الذرات الكبرى، كذرات الحديد والألومنيوم والكالسيوم، والسليكون والكربون والأكسجين والنيتروجين والهيدروجين، وهي عناصر متوفرة في قشرة الأرض وفي الماء وفي الهواء لا تنشطر، فنواتها ثابتة مستقرة ليست بها

طاقة يستغنى عنها، وهذا من حسن الحظ لسببين: الأول: أنه لو لم تكن كذلك لما استمر بقاؤها حوالي الأربعة بلايين عام التي وجدت فيها الأرض، ولكانت قد تلاشت منذ أمد بعيد نتيجة لتفجرها، والثاني: أن هذه النوى الصغيرة هو النوى الذي ينتج من انشطار اليورانيوم، ويخرج منه سليمًا، فهي بمثابة "الرماد" المتخلف من تحطيم الذرات الأكبر، وقد تكون قد أنتجت في الأصل نتيجة لذلك التحطيم، وهذه الحقيقة هي الضمان الحيوي لكي لا تستطيع القنبلة النووية بدء تفاعل متسلسل يمكنه تفجير الأرض بأسرها، فتفاعل الانشطار تفاعل خاص جداً، والذرات القابلة للانشطار نادرة جداً.

والواقع أنه لا يوجد في الطبيعة إلا عنصران كيماويان اثنان يمكن استخدامها في تفاعلات الانشطار وهما اليورانيوم والثوريوم، وذراتهما أثقل وأعقد الذرات جميعاً وكلاهما ضعيف الإشعاع، وهذا يعني أن نوى ذراتهما ينشر جسيمات صغيرة هي الإليكترونات والبروتونات والنيوترونات – واحدة واحدة على مدى القرون– بحيث يتحول العنصران طبيعياً وبالتدريج إلى رصاص، وقد كان من المفروض منذ أمد بعيد أن الأرض لو كانت قد احتوت في وقت من الأوقات أي ذرات أثقل من ذرات اليورانيوم، لكانت تلك الذرات غير ثابتة لدرجة أنها كانت على مر السنين تتحول إلى عناصر مشعة ثابتة كالرصاص.

وعدم ثبات هذين العنصرين ونشاطهما الإشعاعي بدرجة بسيطة يميزهما عن كل العناصر الأخرى، ولكن هذا ليس هو الانشطار؛ لأن

الانشطار تحطيم كامل للنوى الذري، مع انطلاق طاقة هائلة، وهذا لا يحدث إطلاقاً في حالة الثوريوم، ويحدث في ذرة واحدة فقط من كل 140 ذرة من ذرات اليورانيوم، أي حوالي 7% منها، ومعنى هذا أن هناك نوعين من ذرات اليورانيوم أحدهما ينشطر والآخر لا ينشطر.

**النظائر:**

عندما يوجد نوعان من عنصر واحد يقال إنهما نظيران والجمع "نظائر"، ولليورانيوم النظيران المشار إليهما آنفاً، والكلمة بالإغريقية "أيزوتوب" وهي مؤلفة من مقطعين معناهما "نفس المكان" ، فمن المفهوم أن رجال الكيمياء تعودوا ترتيب العناصر الذرية في جدول يبين العلاقة بين خواصها الكيمياوية، وأوزان ذراتها وتركيب نواها، ويقسم هذا الجدول إلى مربعات يشغل كل عنصر منها مربعاً في المعتاد.

ويكفي هنا أن نذكر أنه بعد أن اكتشفت مدام كوري الراديوم في عام 1898م، كان من الواضح أن عدداً من العناصر يوجد كل منها في عدة صور، يتباين تركيبها النووي بعض الشيء، مما يؤدي إلى اختلاف أوزان نواها أيضاً، ولكن الشحنة الكهربائية الموجبة الخالصة للنواة واحدة في تلك الصور، وكذلك عدد الإليكترونات الخارجية التي تدور حولها، وعلى هذا فخواصها الكيمياوية واحدة، وكلها تحتل "نفس المكان" في جدول العناصر، ولذلك تسمى أمثال تلك الصور المختلفة لنفس العنصر بالنظائر.

ففي حالة اليورانيوم تحوي صخوره الموجودة في الطبيعة خليطاً من صورتين من ذلك العنصر، كلاهما من نظائره، في كل منهما 92 إليكتروناً، وبنواة كل منهما 92 شحنة موجبة لتعادل الشحنة السالبة، ولكن وزني نواتيهما –وبالتالي أوزان ذراتهما– مختلفان، فأحدهما يزن 238 وحدة (والوحدة وزن ذرة واحدة من الهيدروجين) ويزن الآخر 235 فقط، ويحوي اليورانيوم الطبيعي 99.3% من النظير الأثقل و 0.75% فقط من النظير الأخف – المسمى يورانيوم 235 (أو يو235 إذا استعملنا الاختصار الكيمياوي المعتاد) ولا يقبل الانشطار إلا يو 235، ولذلك فهو فقط الذي يمكن استخدامه مباشرة كوقود نووي، وعلى هذا فالخطوة الأولى في صنع الوقود النووي من اليورانيوم، هي فصل النظيرين عن بعضهما للحصول على يو 235 النقي.

ويمكن في المعتاد فصل العناصر الكيمياوية المختلفة من بعضها بسهولة باستخدام تفاعلاتها المختلفة مع الكواشف الكيمياوية، فبذلك يمكن فصل اليورانيوم من كل العناصر الأخرى الموجودة معه في معادنه، ولكن لا توجد طريقة كيمياوية تمكن من فصل نظيري اليورانيوم؛ لأنهما متشابهان كيمياوياً، ولكنهما متقاربان جداً أيضاً في الخواص الطبيعية، لدرجة تجعل أي طريقة طبيعية لفصلهما متناهية الصعوبة إن لم تكن مستحيلة، فالفرق الرئيس بينهما هو في أوزان ذراتهما وهو فرق يعادل 3 وحدات من 238، أي أكثر قليلاً من 1% ، وعلى هذا الأساس يمكن فصلهما من بعضهما.

ولكن الفصل لا يتم بالدقة على أساس الوزن، فالوزن في الواقع مقياس جاذبية الأرض للكتلة، ولذلك يفضل الإشارة إلى كتلة الذرات لا وزنها، وإن كان الفرق في الكتلة هو نفس الفرق في الوزن.

ولكن الكتلة –لا الوزن– هي التي تهيمن على سرعة تحرك جزيئات أي غاز وذبذبته، وهذه السرعة تزداد بارتفاع درجة الحرارة، وعند درجة حرارة معينة ترقص الذرات والجزئيات ذات الكتلة الأصغر بسرعة أكبر، وهذا هو العامل الذي يستخدم في فصل نظيري اليورانيوم فيحولان إلى الفلوريد – وهو جزئ غازي– ثم يمرر ذلك الخليط الطبيعي خلال حاجز كبير به ملايين من الثقوب المجهرية، فيهرب كل من النظيرين ببطء خلال تلك الثقوب إلى الجانب الآخر، وهذه عملية معروفة باسم الانتشار، ولكن كتلة يو 235 الأصغر، واهتزازه الأسرع يسمحان لكمية منه أكبر من يو 238 الأثقل بالمرور خلال تلك الثقوب، وهكذا يزداد تركيز يو 235 بعض الشيء، ثم يعاد إمرار الغاز الذي ازداد فيه تركيز يو 235 خلال حاجز مسامي آخر ليزداد تركيزه أكثر، وبعد آلاف من أمثال هذه العملية يستغرق أداؤها عدة شهور، يمكن الحصول على يو 235 في صورة نقية تماماً تقريباً، ويلزم لعملية الفصل هذه مصانع انتشار غازي متناهية الضخامة والتكاليف، ولكنها لازمة لصناعة الوقود الذري؛ لأن يو 235 هو المادة الوحيدة في الأرض التي تستطيع الانقسام مباشرة والتي تستطيع بدء تفاعل نووي متسلسل، ويتوقف كل شيء آخر عليها.

## العناصر الصناعية:

لو لم تكن هناك عناصر أخرى غير يو 235 تقبل الانشطار، لكان المجال ضيقاً أمام صناعة الطاقة النووية، نظراً لصعوبة الحصول عليه وعظم تكاليفه، ولكن اكتشف في أوائل الحرب أن يو 235 يمكن استخدامه لإنتاج أنواع أخرى من الذرات لا توجد في الطبيعة ولكنها تقبل الانشطار، وبهذه المناسبة يحسن أن نشير إلى أن إنتاج هذه العناصر الجديدة الصناعية حقق أحلام قدامى الكيميائيين في تحويل عنصر إلى آخر – رصاص إلى ذهب مثلاً، ولقد كان يظن أن صناعة العناصر الجديدة مستحيلة، أما اليوم فإنها عملية معتادة بالنسبة للعلوم النووية وهندستها، فقد تم إنتاج عدد كبير من العناصر الصناعية الجديدة، ومئات كثيرة من أنواع النظائر الجديدة بواسطة التفاعلات النووية المتسلسلة، ومن هذه العناصر الصناعية عنصر البلوتونيوم الجديد واليورانيوم يو 233 ، وهما قابلان للانشطار وعلى ذلك فلهما أهمية كبرى كوقود نووي.

وليست عملية صناعتهما بسيطة، فهي تستلزم الانشطار التلقائي لذرة يو 235 في فرن أو "مفاعل" نووي، فعندما تنكسر تلك النواة فإنها تقذف عدة نيوترونات بسرعة كبيرة، وهذه هي المؤثرات النشطة في إحداث التفاعلات النووية، وقد يصدم واحد منها أو أكثر نوى يو 235 آخر مسبباً انشطاراً آخر، وبذلك يستمر التفاعل المتسلسل.

أما لو صدم أحد النيوترونات بالسرعة المناسبة نواة يو 238 (التي لا تنشطر) لحدث تفاعل نووي من نوع آخر، إذ سيضم النيوترون إلى نواة

يو 238، ولما كانت كتلة النيوترون تساوي الوحدة فإن انضمامه يؤدي إلى نظير جديد هو يو 239، ولكن هذا غير ثابت إذ تقذف نواته خلال دقائق بإليكترون، ويصبح عنصراً جديداً سمي "نيتونيوم"، وهذا مشع أيضاً، فتقذف نواته خلال أيام بإليكترون آخر فيتحول بدوره إلى عنصر ثالث جديد اسمه "بلوتونيوم" وهو ثابت نسبياً، ضعيف الإشعاع، ولذلك يتحلل فقط بعد عدة آلاف من السنين، وهذه العملية المعقدة تتم بذاتها دون مؤثر خارجي، بحيث أن النيوترونات من يو 235 تصنع البلوتونيوم من يو 238 في الواقع، ويتجمع البلوتونيوم مباشرة في المفاعل النووي، ولكن البلوتونيوم يقبل الانشطار، وهو وقود نووي رئيس مثل يو 235.

وبنفس الطريقة تماماً تستطيع النيوترونات من يو 235 تحويل عنصر الثوريوم الطبيعي إلى يورانيوم 233، وهو نظير آخر يقبل الانشطار، وبهذا أصبحت رواسب العالم الهائلة من خامات الثوريوم صالحة للتحول إلى وقود نووي، وإن كانت لم تستعمل فعلاً حتى الآن.

ومن أدهش وأسعد الحقائق في هذه القصة أن انفلاق يو 235 لا يحرر فقط نيوتروناً واحداً، بل اثنين أو ثلاثة، والأول لازم للإبقاء على التفاعل المتسلسل أي لتوليد الطاقة، أما الآخران فموجودان لإنتاج البلوتونيوم من يو 238 المعتاد، ونظراً لتعدد النيوترونات يمكن تشغيل المفاعل النووي بحيث ينتج من البلوتونيوم أكثر مما يستهلك من يو 235، أي لينتج من الوقود أكثر مما يستهلك، وهذا يعني أيضاً أن كل اليورانيوم الموجود في العالم (وليس فقط 0,7% منه الموجودة في صورة يو 235) تصلح لإنتاج الوقود النووي، وهذه هي العوامل التي تجعل عصر الوقود النووي والتقدم الصناعي على أساسه محتملاً وعملياً.

# الباب الثالث

# الموارد

## نظرة تاريخية:

**يأتي الوقود الذري –ككل المواد التي يستخدمها الإنسان– من الأرض، ولكن هذا الوقود –بعكس غيره كله– يتعرض لكثير من التغيرات الكيمياوية، ابتداءً من استخراجه من صورته الطبيعية كمعدن خام،**

حتى يصبح معداً للاستعمال، والخامات التي تحوي اليورانيوم والثوريوم نادرة، وتوجد في نقاط متباعدة من سطح الأرض، ولم يكن لأيهما أي فائدة هامة قبل اكتشاف الانشطار النووي، فقد كان اليورانيوم يستخدم أساساً في إعطاء الخزف والزجاج الغريب وميضاً أصفر مخضر، أما الثوريوم فقد استخدم في الشبكيات المتوهجة "الرتينة" التي تعطي ضوءاً أبيض نقياً عندما تسخن في لهب غازي كغاز الاستصباح والغاز المائي، أما الآن فقد أصبح للثوريوم واليورانيوم أهمية كبرى كمصادر للطاقة، ولا توجد منهما في الصورة النقية كميات كبيرة.

ولكن اليورانيوم وجد واستخرج كناتج ثانوي في إنتاج الراديوم الذي كان يلزم للاستعمال الطبي وخاصة في علاج السرطان، ويحيل النشاط الإشعاعي الطبيعي ذرات اليورانيوم ببطء إلى رصاص، ولكنها تمر في

طريقها بطور يتمثل في ذرة الراديوم الشديدة الإشعاع التي تظل عدة آلاف من السنين، قبل أن تتحول إلى رصاص، وعلى هذا يوجد الراديوم فقط في صخور اليورانيوم وبكميات قليلة، تبلغ حوالي جزء واحد في 3 مليون جزء من اليورانيوم، أو جرام واحد في كل ثلاثة أطنان، ولكن الجرام الواحد من الراديوم كان يساوي أكثر من 100.000 دولار، ولذلك كانت صخور اليورانيوم الغنية عالية القيمة، بالرغم من أن اليورانيوم نفسه لم يكن كذلك.

ولهذا السبب اكتشفت أغنى رواسب اليورانيوم، واستغلت خلال السنين الأولى من هذا القرن فكانت معدة للتوسع عندما اتضحت قيمة اليورانيوم، ولقد كانت أهم الرواسب ثلاثة، احتوى كل منها معدن البنشبلند الذي يتحد فيه اليورانيوم مع الأكسجين مكوناً أكسيداً أسود، ونسبة اليورانيوم فيه عالية، وأول هذه الرواسب المناجم القديمة في "يواقيمتال" في منطقة بوهيميا في تشيكوسلوفاكيا، وقد استغلت منذ 800 عام لاستخراج القصدير أولاً ثم الفضة ثم الكوبلت والنيكل، وأخيراً اليورانيوم عندما اكتشفت مدام كوري الراديوم في ذلك الصخر عام 1898م ، وظهر الراسب الكبير الثاني في عام 1915م في منجم "شنكولوبوي" الشهير في الكونغو البلجيكية.

وأخيراً وجد راسب هائل لليورانيوم في عام 1930م بالقرب من بحيرة الدب الكبرى بالقرب من الدائرة القطبية في شمال غرب كندا، ومعادن كندا والكونغو غنية بدرجة تكفي لنقلهما أكثر من ألف ميل بالبواخر النهرية، قبل الوصول إلى ميناء بحري أو سكك حديدية.

### موارد جديدة:

والمورد الرئيس الثاني لليورانيوم أكثر تعقيداً وهو "الكارنوتيت" ، الذي يوجد في جيوب صغيرة فقط مختبئة ومبعثرة إلى درجة كبيرة في طبقات الحجر الرملي الفسيحة التي تغطي هضبة "كولورادو" المرتفعة القاحلة في الولايات المتحدة، وقد استخدمت هذه الصخور أيضاً كموارد للراديوم، وقد أمدت العالم في الواقع بأكثر موارده منه، حتى استغلت رواسب الكونغو البلجيكي الفنية، وعندما أصبحت الحاجة إلى اليورانيوم ملحة في العهد الأخير، انتشر البحث عن جيوب "الكارنوتيت" في كل مساحة الهضبة البالغة 130.000 ميل مربع، وقد وجدت جيوب كثيرة جداً، منها ما هو صغير وعلى هامش حد إمكانية الإفادة من المعادن – وهو رطلين من اليورانيوم في كل طن من الخام، ولكن المجموع الذي أمكن تحديد مواقعه له قيمته، وقد وجدت رواسب مشابهة في مواقع أخرى من الولايات المتحدة، وفي كثير من أجزاء العالم الأخرى، ومن أهم المواقع التي اكتشفت "غابة الروم" في الأرض الشمالية في استراليا، وتل الراديوم في جنوب استراليا.

ومورد ثالث لليورانيوم هو الصخور التي تستخرج وتطحن وتعالج لغرض آخر، وبذلك يصبح استخراج اليورانيوم منها اقتصادياً، رغم قلة نسبته فيها أي أنه يكون ناتجاً ثانوياً، ومن أمثلة ذلك مناجم الذهب في جنوب إفريقيا وأحجار الفوسفات في جنوب شرق الولايات المتحدة، ففي الحالتين نجد أن محتوى الصخور من اليورانيوم ضئيل، ولكن تكاليف

الاستخلاص في هذه الظروف منخفضة أيضاً بحيث أصبح هذان المصدران ينتجان كميات هامة من اليورانيوم.

ومن المؤكد أنه ستكتشف خامات جديدة من اليورانيوم، لأنه معدن واسع الانتشار في القشرة الأرضية، وقد قدر أنه موجود فيها بنسبة جزء واحد في 250.000 ومعنى هذا أن اليورانيوم موفور وفرة الرصاص أو الزنك، وموفور أكثر من الفضة مائة مرة.

وبالإضافة إلى هذا ففي ماء البحر خمسة أطنان من اليورانيوم في كل ميل مكعب منه، ولكن عندما تقل نسبة اليورانيوم عن 1% تصبح عملية استخلاصه باهظة جداً، ومع هذا فسعة انتشاره تدل على أن ثمة رواسب أغنى، وأكثر تركيزاً سيكشف عنها في مواقع وبكميات ليست اليوم في الحسبان.

والنتيجة من هذا هي أن صخور اليورانيوم المعروفة والمستغلة فعلاً يمكنها إنتاج طاقة تزيد عما في كل رواسب الفحم في العالم، من 25 إلى 50 مرة ولهذا فمن العملي جداً اعتبار اليورانيوم كوقود عالمي يحل محل الفحم.

ويمكن أن تصبح صخور الثوريوم أيضاً مورداً هاماً للوقود، رغم أن شيئاً منه لم يستعمل لذلك الغرض حتى الآن، وهذا المعدن أندر من اليورانيوم وصخوره ليست منتشرة مثله، ولكن الرواسب المعروفة كبيرة نسبياً، وأغنى موارد العالم من الثوريوم اليوم منطقة رمال "المونازيت"

الفسيحة، الواقعة على شواطئ "ترفانكوا" في جنوب الهند، وهناك يعمل مصنع فعلاً لاستخراجه من 1500 طن من الرمل سنوياً، وهناك رواسب أصغر من هذا "المونازيت" في البرازيل.

### الاستخلاص:

تحوي خامات اليورانيوم من رطلين إلى عشرة أرطال فقط من المعدن في كل طن، وتوجد هذه الكمية الصغيرة عادة منتشرة في صورة حبيبات مجهرية في الصخر ويجب فصلها من حوالي 2000 رطل من الصخر غير المفيد، وهذا يستلزم أولاً طحن الصخر في مطاحن هائلة، ثم سحقه إلى رمل ناعمٍ وحينئذٍ يكون معداً للعمليات الكيمياوية التي تتطلب – في حالة الكارنوتيت– تحميصه مع الملح عند درجة حرارة حوالي 1000ف ، ثم غسله بالماء ثم معالجته عدة مرات بالحمض وتسخينه وتجفيفه، وبعد أيام كثيرة من المعالجة المستمرة يصبح الناتج مسحوقاً أسود أغبر وهو أكسيد اليورانيوم الخام – بضع أرطال منه من كل طن من الصخر الأصلي.

والطور الثاني تنقيته تماماً من كل آثار المعادن الأخرى التي يصحب بعضها اليورانيوم دائماً في أكثر العمليات الكيماوية، ولكن المعالجة الخاصة المتكررة بالحمض تزيلها في النهاية حتى يتكون أكسيد اليورانيوم البني النقي، ثم يلزم إزالة الأكسجين واستبداله بالفلور، الذي يكون فلوريد اليورانيوم وهو مسحوق مخضر يعرف باسم "الملح الأخضر".

والملح الأخضر هو المادة الأولية التي يصنع منها اليورانيوم نفسه، وهو معدن براق صلب ثقيل، تزن البوصة المكعبة منه ثلثي رطل أي أنه أثقل من الرصاص بنسبة 50% وهو يشبه النيكل في مظهره إلى حد كبير، إلا أنه يتأكسد جزئياً مكوناً صدأ رمادياً عندما يتعرض للهواء، ويسحب إلى قضبان طويلة تقطع إلى قطع طولها أربع بوصات تزن كل منها حوالي أربعة أرطال، توضع في صفائح محكمة من الألومنيوم، تلحم عليها لتقيها من الهواء، وأخيراً يصبح اليورانيوم في هذا الشكل معداً للمفاعل النووي.

**الفصل:**

ولكن هذا يورانيوم طبيعي، خليط من نظيرين: يو 238، و يو235، فإذا لزم فصلهما لإنتاج يو 235 النقي تبدأ العملية "بالملح الأخضر" (المذكور فيما سبق فيعالج بمزيد من الفلور لكل ذرة من اليورانيوم) وهذا هو مركب اليورانيوم الوحيد الذي يمكن تحويله إلى الصورة الغازية اللازمة لفصل نظيري اليورانيوم بانتشار الغازات كما سبق وصفه في الباب السابق، وسادس فلوريد اليورانيوم في درجة الحرارة العالية فيتبخر مكوناً غازاً ثقيلاً، فيسخن ثم يمرر لينتشر ببطء مراراً وتكراراً خلال الجدران المسامية لمواسير يبلغ طولها عدة أميال، وبعد أن يمكث في مصنع انتشار الغازات عدة شهور، يخرج منها في صورة سادس فلوريد يو235 النقي.

ويورانيوم 235 هو الوقود النووي الرئيس، لأنه المادة الوحيدة القابلة للانشطار التي توجد في الطبيعة، فيمكن استخدامه مباشرة لتوليد

الطاقة أو يمكن استخدامه في تفاعلات الانشطار لتحويل يورانيوم 238 إلى بلوتونيوم، وهذا هو الوقود النووي الثاني القابل للانقسام، ولكن إنتاجه يمكن أن يتم فقط بتشغيل المفاعل النووي، ولذلك سيأتي ذكره في الباب التالي الخاص بالمفاعلات، وكلما نمت صناعة الطاقة النووية إلى يورانيوم 233 القابل للانشطار، وبذلك يضيف وقوداً ثالثاً إلى موارد الطاقة في العمر النووي.

والواضح أن إنتاج الوقود الذري من الخامات معقد باهظ التكاليف، ويحتاج من جانب الكيميائي إلى خبرة ومعرفة خاصة كبيرة، تعادل ما تستلزمه المفاعلات من جانب رجال الطبيعة، ثم إنه يحتاج إلى كميات هائلة جداً من الأجهزة الكيمياوية والتعدينية المعقدة الدقيقة الخاصة، التي تستلزم صناعة متقدمة للأجهزة الكيمياوية، وتبين هذه الحقائق – بالإضافة إلى أن خامات اليورانيوم توجد في قليل من بلاد العالم فقط – أن الوقود النووي لن تنتجه أكثر الأمم خلال السنوات القادمة، وإنما ينبغي أن يوفره منتجوه القليلون لتلك الدول العديدة، التي ستبنى تنمية مواردها من الطاقة عليه.

# الباب الرابع

# المفاعلات

**إذا ذكرت الطاقة النووية أمام أي قارئ عادي، فإنه يفهم أن المقصود هو زيادة الكهرباء، فبفضل الطاقة الذرية ينتظر أن توجد الكهرباء حيث لا توجد الآن، وأن تزداد مواردها حيث هي الآن، وغالباً سترخص عما هي الآن،**

**ولكنها ستسري كما هي في أسلاك تخرج من مولدات ضخمة، وستكون محطاتها كمحطات القوى الكهربائية المائية المعروفة اليوم ضخامة وتعقيداً، تتولى تكاليفها الباهظة الحكومات أو كبرى الشركات، ويديرها عدد قليل من الخبراء العالميين المتعمقين في التخصص، ولكنها – بدلاً من تحويل طاقة الماء الساقط بسرعة من خزان محدود– ستحول طاقة الجسيمات النووية المتناهية السرعة، بعد تحررها من الروابط الكيمياوية داخل الذرات، تبعاً للتصميم الدقيق للمفاعلات النووية.**

**ويطلق على مثل هذا المفاعل عادة اسم "الفرن الذري" ، وهو اسم طبيعي لأنه يعمل في درجات حرارة مرتفعة، ولأن اليورانيوم يمكن اعتباره كوقود، ولأن الناتج المباشر الأول هو البخار، ولكنه يختلف عن الفرن في أنه لا يحتاج إلى هواء ولذلك يستطيع أن يعمل النيوترونات أثقل بكثير من النيوترون نفسه، وعلى هذا يجب أن يكون المهدئ مكوناً من مادة صغيرة**

من الذرات، ولا تصلح لذلك المعادن الثقيلة ذات الذرات الكبيرة، وأفضل مهدئ هو "الماء الثقيل" وهو أكسيد أحد نظائر الهيدروجين "الهيدروجين الثقيل" ، الذي تزن ذراته وحدتين، في حين تزن ذرات الهيدروجين المعتاد وحدة واحدة، والماء المعتاد أكسيد الهيدروجين المعتاد، ولكنه يحوي دائماً نسبة صغيرة جداً (جزء في 5000 جزء) من النظير الأثقل، ويمكن فصل هذا الأخير بعملية طويلة باهظة التكاليف، بحيث يساوي اللتر منه حوالي مائة دولار، ولما كانت تلزم منه كميات كبيرة، فإنه نادراً ما يستخدم.

أما المهدئ الشائع فهو الجرافيت، الذي يتألف من ذرات من الكربون التي تزن 12 وحدة، ورغم أن هذا يزيد عن كتلة النيوترون 12 مرة، إلا أنه أخف بكثير من أكثر المواد الصلبة المعتادة.

وبالإضافة إلى هذا فإن وفرة كميات كبيرة من الجرافيت بأسعار منخفضة نسبياً قد أدى إلى استخدام كتل من الجرافيت كمهدئ في أكثر المفاعلات النووية.

### قضبان التحكم:

يستمر تفاعل الانشطار من تلقاء نفسه إذا ما أحسن ترتيبه، فلا يلزم أي جهد أو انتباه للمحافظة على استمراره، بل على العكس يلزم منعه من المضي أسرع أو إلى أبعد مما يلزم، ويجب أن يكون هناك جهاز ما للتحكم

في سرعته ولإبطائها أو حتى إيقافها تماماً، وهذا يتم ببساطة في أي مفاعل بواسطة قضبان أو ألواح من مادة يمكنها إيقاف أو امتصاص النيوترونات التي تصطدم بها، دون أن تتغير هي نفسها أو تتحلل، وأمثال هذه المواد نادرة، ولكن يصلح لهذا الغرض معدنان شائعان، هما البورون والكادميوم، والثاني أصلح عملياً من الأول، وبذلك تبنى المفاعلات بحيث يمكن إدخال قضبان من الكادميوم في "قلبها" من الخارج، أو سحب هذه القضبان عند اللزوم، وعند إدخالها إلى أماكنها "تسرق" النيوترونات التي تنطلق من الانشطار التلقائي لبعض ذرات الوقود، وبهذا تمنعها من صدم نوى ذرات يورانيوم أخرى، فتوقف التفاعل، وعندما تسحب تدريجياً من "القلب" يبدأ التفاعل المتسلسل، وتزداد سرعته ويمكن إبقاء التفاعل عند أي سرعة مطلوبة بتحريك قضبان الكادميوم، ويمكن إيقافه في الحال تقريباً بإدخاله إلى النهاية، ومن قبيل الاحتياط يتم تشغيل هذه القضبان أوتوماتيكياً بواسطة آلات تقيس باستمرار ما يسمى "معدل انطلاق النيوترونات" ، أي عدد النيوترونات الداخلة في التفاعل في أي لحظة من اللحظات.

**المبرِّد**:

الطاقة هي الناتج الأول للمفاعل، وتتحرر مباشرة في صورة جسيمين أو ثلاث جسيمات عالية السرعة من كل نواة يورانيوم متفجرة، وهذه أيضاً تصطدم بكل المواد الموجودة في المفاعل فتدفعها –لأنها ذرات كبيرة الحجم نسبياً– إلى الاهتزاز السريع، وهو ما نسميه الحرارة، وبهذا تقف تلك

الجسيمات وتتراكم تدريجياً كشوائب كيمياوية في "قلب" المفاعل ويجب في النهاية إزالتها كأي رماد من أي فرن، ولكن تلك الحرارة يجب إزالتها أيضاً، حتى ولو لمنع ارتفاع حرارة المفاعل كله إلى درجة لا يمكن اتقاؤها.

وقد تم هذا في المفاعلات الصغيرة الأولى بإمرار تيار من الهواء خلالها، وتستخدم بعض المفاعلات الكبيرة اليوم غازات مضغوطة مثل ثاني أكسيد الكربون، وتمرر في بعضها الآخر كميات كبيرة من الماء في مواسير لتحفظ حرارتها منخفضة، وقد يلزم للمفاعل الكبير نهر بأكمله، ولم تستغل كل هذه الحرارة في المفاعلات التي تستخدم أساساً لإنتاج البلوتونيوم، أو لصناعة بعض النظائر (انظر باب6) أو لدراسة تاثير النيوترونات على مواد بناء المفاعلات أو لأغراض البحوث الأخرى.

ولكن أي صناعة للكهرباء من الطاقة الذرية يجب طبعاً أن تستخدم كل هذه الحرارة، فيجب أن تنقل من داخل المفاعل إلى غلاية بخار أو أي جهاز آخر يستخدم الحرارة، وليس الهواء في نقله للحرارة بالمادة المناسبة، وللماء عيب هو أنه يغلي عند درجة حرارة منخفضة نسبياً، ولذا يفضل أي سائل ذي درجة غليان مرتفعة كالزئبق لأنه يمكن تشغيله عند درجة حرارة عالية، فيمكن نقل كمية كبيرة من الحرارة من حيز صغير من السائل، ويرجح الآن استخدام سبيكة من المعادن الأقل شيوعاً كالصوديوم والبوتاسيوم لهذا الغرض.

وعلى هذا فالمبرِّد ليس مجرد واقٍ لحماية المفاعل من أن يسخن أكثر من اللازم، ولكنه أيضاً حلقة الاتصال الرئيسة بين المفاعل الذي يولد

الطاقة، وبين مصنع الكهرباء الذي يحول تلك الطاقة إلى شكل نافع، كما سيظهر في الباب التالي.

**الدرع:**

هذا مميز آخر لكل مفاعل نووي، وإن لم يكن جزءاً عاملاً من أجزائه، وهو الدرع الضخم الذي يحيط به من كل جانب لوقاية المكلفين بتشغيله من الأشعة النفاذة التي تتولد داخله، فهناك خطران: النيوترونات الشاردة التي تهرب بسرعة عالية رغم كل جهد لمنعها واستخدامها، والأشعة الجيمية التي تتولد أيضاً مع الانفجارات النووية، وهذه أشعة حقيقية وليست جسيمات بل إشعاعات ذات أمواج قصيرة جداً تشبه الأشعة السينية، ولكنها أكثر نفاذاً منها بدرجة كبيرة، والتعرض للنيوترونات لفترة صغيرة جداً قد يكون فتاكاً، وتحتاج الأشعة الجيمية لوقت أكثر بعض الشيء لتصبح فتاكة أيضاً، ولذلك يوضع درع من الخرسانة سمكه سبعة أقدام حول كل مفاعل من كل جانب ليمتص هذه الأشعة الخطيرة، وقد يستخدم الصلب أو الرصاص بسمك أقل بعض الشيء، ولكن امتصاص هذه الأشعة الخطرة يجب أن يتم بحائط سميك من الذرات الثقيلة، ولا يمكن أن يتم بغير ذلك.

وهذا الدرع هو الذي يعطي المفاعل الصغير مظهراً ضخماً هائلاً، وهو أيضاً المانع الذي يعوق استخدام المفاعلات النووية في السيارات، أو لتسخين البيوت الصغيرة، فمثل هذا الدرع الثقيل لا يتأتى إلا لمؤسسات الطاقة الكبيرة.

**إنتاج البلوتونيوم:**

أول وأهم أنواع المفاعلات الخاصة العديدة التي تعمل الآن هو الذي يهدف أولاً –لا إلى إنتاج الطاقة – بل إلى إتمام التفاعل النووي، الذي يحول اليورانيوم 238 المعتاد إلى بلوتونيوم، فهذا العنصر لا يوجد في الطبيعة ولكنه عندما يصنع من اليورانيوم يصبح وقوداً نوويًا يعادل في قيمته اليورانيوم 235، وبهذا يستفاد من اليورانيوم 238 العديم النفع فيزيد هذا من موارد العالم من الوقود النووي 140 مرة.

والعملية بسيطة في أساسها النظري كما تبين في الباب الثاني، فنواة يو238 تمتص نيوترونات من تحطم يو235، وبذلك تصبح يو239 الذي يتحول بدوره أوتوماتيكياً وبسرعة إلى البلوتونيوم، ولكن هذا يتطلب من الناحية العملية هيمنة وحذراً بحيث يمتص يو238 أكثر ما يمكن من النيوترونات المنبعثة من يو235 فكل نواة يو235 تكون نيوترونين أو ثلاثة (2,5 في المتوسط) ويلزم أن يحطم كل منها نواة يو235 أخرى للمحافظة على استمرار التفاعل، ولو أريد إنتاج وقود نووي أكثر مما يستهلك يجب أن يستغل النيوترون أو النيوترونان الآخران في إنتاج البلوتونيوم، وهذا يعني تجنب أي فقدان للنيوترونات، والحذر في استخدام المهدئ بحيث يبطئ النيوترونات حتى السرعة التي يحتمل فيها أن يلتقطها نوى يو238، ولما كان البلوتونيوم يتراكم في "القلب" فيحتفظ باليورانيوم، فسوف يأتي وقت يلزم فيه إزالة "القلب" ليمكن فصل العنصرين فصلاً كيماوياً، وعملية الفصل هذه عملية صعبة للغاية، نتيجة للنشاط

الإشعاعي الشديد للأجزاء النووية الأخرى التي توجد في "القلب" (انظر الباب السادس).

**المفاعل المولد:**

لما كان أي مفاعل يصنع البلوتونيوم يولد الحرارة، وأي مفاعل معد لإنتاج الحرارة والطاقة ينتج البلوتونيوم أيضاً، فإن من أهم وأفيد المفاعلات ما يجمع بين الاثنين، فيولد الطاقة للاستعمال الصناعي وينتج البلوتونيوم في نفس الوقت، فلو أمكنه إنتاج ذرة واحدة من البلوتونيوم لكل ذرة من يو235 استنفدت فيه، فإنه لا يكون في الواقع قد استنفد أي وقود، لأنه يكون قد عوض كل ما استنفد، وقد شغلت هيئة الطاقة الذرية الأمريكية مثل هذا المفاعل ثلاث سنوات متواليات، وتبين أنه أنتج من الوقود أكثر مما استنفد وبما أنه (وَلّد) وقوداً جديداً فإنه يسمى مفاعلاً "مولداً" وتقع أهميته في إمكان صنع وبيع البلوتونيوم الثمين كناتج ثانوي من إنتاج الطاقة، وبذلك تقل تكاليف تشغيل المفاعل، وبالتالي تكاليف الطاقة النووية، والواقع أن التوليد يستهلك يو238، ومعنى هذا أن المفاعل يجب شحنه باليورانيوم المعتاد من وقت لآخر.

ومولِّد الطاقة الذري ينتج وقوداً أكثر مما يستهلك وتلك من الظواهر الغريبة العديدة التي تميز هذا العالم النووي الجديد، ثم إنه أحد العوامل الفريدة العديدة التي تشجع توقع استبدال مصانع الطاقة الحالية التي تستخدم الفحم كوقود بمفاعلات نووية إن عاجلاً أو آجلاً.

**أنواع خاصة:**

لقد بني عدد كبير من المفاعلات الخاصة التجريبية وقد استبدلت قضبان اليورانيوم في إحداها بمحلول ملح من أملاح اليورانيوم (الكبريتات أو النيترات) في الماء، وبذلك يتجمع فيه الوقود و"المهدئ" في محلول واحد، ويبرد بالماء الذي يسري خلال مواسير حلزونية في خزان من الصلب، ويعلق "القلب" و"المهدئ" في نوع آخر في حمام من الماء عمقه 20 قدماً يؤدي مهمة "المبرد" و"الدرع"، وفي نوع ثالث يؤدي محلول أملاح اليورانيوم الأغراض الثلاث: الوقود والمهدئ والمبرد، ومن التباديل الأخرى استخدام يو235 النقي في "القلب" ، أو تقوية اليورانيوم الطبيعي بإضافة نسب مختلفة من يو235 ، أو استعمال اليورانيوم الطبيعي نفسه، وفي مفاعل حديث يستخدم معدن خفيف جداً هو "البريليوم" كمهدئ مكان الجرافيت أو الماء الثقيل، كما أن هناك مفاعلاً هاماً غرضه الوحيد اختبار آثار قذائف النيوترونات عند درجات الحرارة المرتفعة على الصلب والزركونيوم والمعادن الأخرى، بحثاً عن مواد بنائية تمكث مدة أطول، وتقاوم درجات الحرارة العالية أكثر مما تستطيع المواد الحالية، وصمم مفاعل آخر لإنتاج سيل دافق من النيوترونات لتحويل المواد العادية إلى نظائرها المشعة، لتستخدم في البحوث الطبية وغيرها، ويدل كل هذا على أن الفترة التجريبية في ميدان تصميم المفاعلات لم تنته بعد، وأنه لا تزال هناك اكتشافات وتصميمات جديدة، ستؤدي إلى تحسينات أساسية في المفاعلات في المستقبل.

## الباب الخامس

# الكهرباء النووية

### الحاجة إلى الطاقة:

تتضح أهمية تنمية الطاقة النووية كمورد للقوى الصناعية بمقارنة متوسط الدخل السنوي للفرد في عدة دول متباينة بمتوسط الاستهلاك السنوي للطاقة فيها، وتوجد اليوم عدة مصادر للطاقة هي الفحم والبترول والغاز الطبيعي والطاقة المائية،

وللمقارنة حسب استهلاك المصادر الثلاث الأخيرة بما يعادلها من الفحم، فاتضح بذلك أن استهلاك الفرد من الطاقة في العام في الولايات المتحدة يعادل 8 أطنان في العام، وفي المملكة المتحدة وفي النرويج 4.5 طن، وفي اليابان طناً واحداً، وفي الهند حوالي 0,1 من الطن، ويقابل هذا أن متوسط دخل الفرد في الولايات المتحدة 2000 دولار في العام، وفي المملكة المتحدة والنرويج 1000 دولار، وفي اليابان 100 دولار، وفي الهند حوالي 50 دولاراً، وليست هذه الأرقام دقيقة جداً ولكنها تؤكد بوضوح أن ارتفاع مستوى الحياة، يلازم دائماً ارتفاع استهلاك الطاقة.

والتفاوت بين الأمم ملفت للنظر، ففي هذا اليوم الذي تجتمع فيه كل الأمم في هيئة الأمم المتحدة على قدم المساواة، يجب العمل على رفع

مستوى الحياة في كل مكان، وهذا لا يعني فقط زيادة موارد الطعام والصحة العامة، بل يعني أيضاً وفي نفس الوقت زيادة موارد الطاقة، والهدف الأول من اختصاص هيئة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة، والثاني من اختصاص هيئة الصحة العالمية، والثالث يقع ضمن اختصاصات منظمة هيئة الأمم للتربية والعلوم والثقافة (اليونسكو).

وأكثر الأمم التي تستخدم اليوم قليلاً من الطاقة، نجدها مفتقرة في مواردها من أنواع الوقود الحالية، ولكن إذا ما أريد رفع مستوى حياة جميع الشعوب إلى مستوى أعلاها، فإن موارد الفحم والبترول المعروفة في العالم كله لن تكفي إلا حوالي عشرين عاماً فقط، أما موارد اليورانيوم والثوريوم المعروفة فتكفي مدة 500 – 1000 عام.

وفضلاً عن هذا فالاعتماد على الفحم يقتضي نفقات باهظة مستحيلة لنقل آلاف ملايين الأطنان منه كل عام من مناجمه إلى مراكز استعماله النائية.

ولما كان الطن الواحد من الوقود النووي يعادل 2.5 مليون طن من الفحم، فإن مشكلة النقل ستحل هي الأخرى بالتحول إلى الوقود النووي، وهذه هي الأسباب الرئيسة لاهتمام هيئة الأمم المتحدة بمستقبل الطاقة النووية.

**إنتاج البخار:**

وقد يؤدي البحث في النهاية إلى إمكانية تحويل طاقة النيوترونات المنطلقة والجسيمات النووية الكبرى مباشرة إلى كهرباء، أما الآن فيسلم المفاعل النووي تلك الطاقة في صورة حرارة إلى سائل التبريد.

وبذلك تصبح مهمة إنتاج الطاقة التقاط حرارة المبِّرد وتحويلها إلى كهرباء، التي هي أنسب صورة لاستخدام الطاقة ونقلها مسافات طويلة، وتحويل الحرارة إلى كهرباء عملية عادية في أية محطة لتوليد الكهرباء تستخدم الفحم، والواقع أن الفرق الوحيد هو في مصدر الحرارة.

فمحطة توليد الكهرباء الحديثة، تولدها في مولدات دوارة ضخمة تديرها سرعة وضغط الماء الساقط في توربين مائي، أو حرارة وضغط البخار في توربين بخاري، وفي حالة البخار تزداد كفاءة المحطة – وهذا يعني انخفاض تكاليفها – عندما يكون ضغط البخار عالياً، وبالتالي تكون حرارته عالية أيضاً، وفي المعتاد تستهلك محطة البخار التي تعمل بالبخار عند ضغط 200 رطل للبوصة المربعة ضعف الفحم الذي تستهلكه محطة تعمل بضغط 1.200 رطل، وعند الضغط المرتفع تزيد درجة الحرارة على 1000ف، وهذا هو السبب في رغبة المهندسين لتشغيل المفاعل النووي عند أعلى درجة حرارة ممكنة، واستخدام السائل المبرد الذي يأتي بالحرارة إلى الغلايات عند درجة حرارة 1000ف إن أمكن، وهذا بدوره هو الدافع للبحث الحالي الهائل للتنقيب عن مواد جديدة للصناعة مثل معدن الزركونيوم (لتستخدم في بناء المفاعلات) وعن معادن سائلة أفضل

(لتستخدم في التبريد) ويجب أن تقاوم مثل هذه المواد الحرارة العالية، وقذائف النيوترونات الشديدة في المفاعل بدون فقدان القوة لتحملها أو خواصها الأخرى، والزركونيوم بديل ممتاز للصلب ويصلح جداً لهذا الغرض، ولكنه باهظ الثمن لجدته، وإن كان سعره قد هبط من 300 دولار للرطل إلى 15 دولاراً خلال السنوات القليلة الأخيرة، وسيهبط إلى أقل من هذا بدون شك كلما زاد إنتاجه، وهذا مثل من أمثلة المشاكل الهندسية التي تصادفها صناعة الطاقة النووية الجديدة.

وهناك صعوبة أخرى أيضاً هي أن سائل التبريد يصبح نفسه مشعاً، نتيجة لتعرضه لقذائف النيوترونات الشديدة داخل المفاعل (انظر الباب السادس) ، ولهذا يصبح خطراً على المشتغلين به نتيجة لانبعاث أشعة نفاذة منه، ولهذا السبب يسحب عادة بمضخات من المفاعل إلى أجهزة "تبادل الحرارة" ، حيث تبرده دائرة ثانية من السائل المبرد الذي يصبح بذلك ساخناً جداً ولكنه غير مشع، وهذا المبرِّد الثاني هو الذي يمر بعد ذلك إلى الغلايات، حيث يحول الماء إلى بخار ذي ضغط مرتفع، يشغل توربينات بخارية، تدير بدورها المولدات فتولد الكهرباء.

## التكاليف:

سيتوقف نجاح الطاقة النووية كمصدر للطاقة الصناعية – بل ويتوقف كيانها نفسه– على تكاليف الطاقة الناتجة، ويظهر أنها ستكون أرخص من الطاقة الحاضرة في البلاد التي يلزم استيراد الفحم فيها، وخاصة إن استلزم

هذا نقله مسافات طويلة، أما حيث يتوفر الفحم رخيصاً فإن الطاقة النووية ستكون أغلى في الوقت الحاضر على الأقل، ولذلك يجب أن يكون الاختيار والمقارنة على أساس العوامل المحلية لأن ثمن الفحم مسألة محلية.

وتمتاز الطاقة النووية بأن ثمن الوقود ضئيل متناهي الضآلة، صحيح أن يو235 القابل للانشطار غالٍ جداً (10.000 دولار للرطل على الأقل) ولكن هذا مجرد جزء من الاستثمار؛ لأنه –على أساس "التوليد"– سيتجدد باستمرار ويحل محله بلوتونيوم جديد يعادل في كفاءته يو235، وعلى هذا فثمن الوقود هو فقط ثمن اليورانيوم المعتاد اللازم للتحويل إلى بلوتونيوم، وثمن اليورانيوم المعتاد 35 دولاراً للرطل، وينتج 20 رطلاً منه 52 مليون كيلوواط/ساعة من الطاقة الكهربائية، وهذا يكفي مدينة كبيرة لمدة عام، وعلى هذا فثمن الوقود نفسه 0,0013 من السنت للكيلوواط/ ساعة، وفي حين أن ثمن الكهرباء المعتادة حوالي سنتاً واحداً للكيلوواط/ الساعة، وعلى هذا فثمن الوقود نفسه يقارب الصفر أي أنه يمكن إهماله.

ولكن صيانة المفاعل تقتضي عدة أنواع من النفقات لا تتطلبها الغلاية البخارية التي تعمل بالفحم، فبعد أن يعمل المفاعل بعض الوقت – عاماً أو أكثر– يصبح تراكم نواتج الانشطار في "القلب" عقبة في سبيل تمام الإفادة من النيوترونات، ولذلك يلزم إزالة تلك النواتج، وهذا يستلزم إزالة "القلب" وتنقيته من مثل تلك الشوائب بعملية كيمياوية صعبة غالية، وقد قدرت تكاليف هذه العملية بعشرة أمثال ثمن الوقود نفسه – أي

0,013 من السنت تقريباً– هذا ما يزال صغيراً جداً، أي حوالي 1% من ثمن الكهرباء المعتادة، فإن كان المفاعل "مولداً" ناجحاً فإن كمية البلوتونيوم تزيد عن شحنة يو235 الأصلية، ويمكن بيع الزيادة بسعر يعوض تكاليف هذه العملية الكيمياوية، وبذلك تصبح تكاليف تنظيف المفاعل غير عالية.

ولكن المبالغ اللازمة لبناء المفاعل مبالغ كبيرة، أعلى بكثير جداً من محطة توليد الكهرباء من الفحم والبخار، ففي الولايات المتحدة، حيث بنيت أكثر المفاعلات الحالية، يتكلف بناء محطة توليد الكهرباء من تكاليف الفحم حوالي 130 دولاراً لكل كيلوواط من طاقتها من إنتاج الكهرباء، في حين يتكلف بناء المصنع النووي ضعف هذا على الأقل، فتقدر تكاليف بناء المحطة النووية التي تبلغ قوتها 60,000 كيلوواط، والتي يجري بناؤها الآن حوالي 30 مليون دولار، بدلاً من سبعة ملايين لو كانت محطة توليد للكهرباء من الفحم، ولكن تكاليف المفاعلات ستقل حتماً مع اكتساب الخبرة في تشغيلها وتحسين تصميمها بمواصلة البحوث، ولكن يمكن في الوقت الحاضر القول بأن تكاليف الطاقة النووية أعلى بعض الشيء من الطاقة المولدة من الفحم حيثما يتوفر الفحم الرخيص، نتيجة لارتفاع تكاليف إنشاء المحطات النووية.

ولكن من المؤكد أن الطاقة النووية أرخص حيثما ارتفع ثمن الفحم، ويبدو أن الحد الأعلى لسعر الفحم "الرخيص" هذا يبلغ حوالي عشرة دولارات للطن.

**الاستعمالات:**

**مازال استعمال الطاقة النووية في الصناعة والتجارة في بدايته، فقد بنيت عدة مفاعلات تجريبية في إنجلترا وكندا والولايات المتحدة لأغراض أخرى غير توليد الكهرباء الذرية، مثل المفاعل المولد في الولايات المتحدة، ولكنها استخدمت عرضاً في توليد الطاقة اللازمة لإضاءة المؤسسة الذرية وما جاورها من مبانٍ، وقد أعلن الاتحاد السوفيتي أن أول محطة صناعية لتوليد الكهرباء من الطاقة الذرية قد بدأ تشغيلها في 27 يونيو من عام 1954م، وأن طاقتها الفعلية تبلغ 5000 كيلوواط، وأن هذه الكهرباء تستخدم في الصناعة والزراعة في المناطق المجاورة، وقد أعلن المستر ج.م مالينكوف ، وزير محطات القوى الكهربائية في يونيو عام 1955م أنه سيبدأ قريباً جداً تشغيل محطة كاملة قدرتها 50,000 كيلوواط، وقد بدأ في إنجلترا بناء محطة قوتها 50.000 كيلوواط منذ عدة سنوات وسيبدأ إنتاجها في أوائل عام 1956م ، وقد بدأ أيضاً بناء محطة قوتها 60000 كيلوواط في الولايات المتحدة، وتضع فرنسا وكندا والنرويج، وهولندا وبلجيكا وسويسرا الخطط لبناء محطات قوى ذرية للأغراض الصناعية.**

**وقد بنيت هذه الثقة في إمكانيات الطاقة النووية على أساس نجاح تشغيل الغواصة الأمريكية التي تستخدم أول مولد نووي كبير، وقد بنيت قبل أن تعرف تكاليف التشغيل، نتيجة لميزتها الإضافية في الملاحة، وهي عدم حاجة آلاتها إلى هواء، ولذلك تستطيع أن تبقى تحت الماء مدداً طويلة، وهناك ميزة حربية ثانية للآلات النووية أدت إلى تصميم سفن**

حربية وتجارية، وهي أن السفن لا تحتاج إلى إعادة شحنها بالوقود، لأن اليورانيوم في "قلب" المفاعل يستطيع أن يولد الطاقة اللازمة لسير السفينة لآلاف الأميال ولعدة شهور أو سنوات، ونفس هذه الميزة هي التي تؤدي الآن إلى تصميم طائرات تسير بالقوة النووية، فإذا نجحت فلن يكون لمدى طيرانها حد لأنها لا تحتاج إلى التزود بالوقود، ولكن مشكلة رفع المفاعل النووي الثقيل، وبناء درع ثقيل لحماية الطيارين لم تحل بعد.

# الباب السادس

# النشاط الإشعاعي

## النشاط الإشعاعي الطبيعي

الانشطار هو التحطيم المفاجئ العنيف لنوى بعض الذرات الثقيلة (يورانيوم 235، ويورانيوم 233، وبلوتونيوم239) عندما يصطدم بها نيوترون عالي السرعة، فتطير إلى جزأين أو ثلاثة أجزاء،

هي نفسها نوى ذرات متوسطة الكتلة (عادة بين 80 و 140 وحدة)، وهذه العملية ليست متواصلة، وإن كانت تحدث غالباً كلما صدمت الأشعة الكونية ذرات قابلة للانشطار.

والنشاط الإشعاعي عملية مشابهة بعض الشيء في أنها هي أيضاً تتضمن تفككاً نووياً، وإن كانت تختلف كلية في سببها وكيفية حدوثها وآثارها، وقد اكتشف "هنري بكريل" هذه الظاهرة في اليورانيوم في عام 1896م، وأفضل مثال عليها هو الراديوم الذي اكتشفه بيير وماري كوري بعد ذلك بعامين، وجميع نوى الذرات ذات النشاط الإشعاعي غير ثابت أصلاً، فيتفكك عاجلاً أو آجلاً من تلقاء نفسه، والعملية ذاتية تماماً لدرجة أنه حتى اليوم لا توجد أي وسيلة لإسراع أو إبطاء سرعتها لدرجة كبيرة، ففي كل عنصر مشع تتفكك نسبة صغيرة من نوى ذراته في كل ثانية، فإذا

كانت هذه النسبة كبيرة، كان النشاط شديداً بحيث قد تتكسر كل الذرات وتتحول إلى شيء آخر في ثانية واحدة، أو في أحوال أخرى في دقائق أو ساعات، أما إذا كانت النسبة صغيرة كان النشاط ضئيلاً، بحيث يبقى العنصر المشع سنوات أو قروناً، وأنسب طريقة لقياس درجة عدم ثبات الذرات وبالتالي شدة نشاطها الإشعاعي، هي الوقت الذي تقل فيه كمية ما من المادة إلى نصف تلك الكمية، فالراديوم مثلاً يتفكك بسرعة تجعل الجرام منه ينقص إلى نصف جرام في **1590** عام، ويعرف هذا "بأمد الانتصاف" وهذا بالنسبة لليورانيوم **4000** مليون عام، في حين أنه بالنسبة للبلوتونيوم **136** يوماً.

والفرق الرئيس الآخر بين الانشطار والنشاط الإشعاعي، هو أنه في حالة الأخير لا تنقسم النواة إلى أجزاء نووية رئيسة، ولكنها تقذف فقط بأجزاء صغيرة: إما جسيماً "ألفياً" (نواة ذرة هيليوم مؤلفة من بروتونين ونيوترونين، والأربعة مرتبطات جداً معاً) أو إليكتروناً.

ونظراً لأنها تقذف بسرعات عالية وتسري في خطوط مستقيمة، فإنها أصبحت تعرف بأنها أشعة ألفية وأشعة بائية على التوالي، والأخيرة إليكترونات، ويصحب قذف الإليكترون دائماً نبضة من أشعة نفاذة، تشبه كثيراً الأشعة السينية وتعرف باسم الأشعة "الجيمية" تسري في كل الاتجاهات كالضوء من مصباح الكهرباء.

وعندما يقذف جسيم ألفي أو إليكترون من نواة، تتغير الشحنة الكهربائية الموجودة على نواتها وهذا أيضاً يعتمد على عدد الإليكترونات

التي يمكن أن تبقى في الطبقات الخارجية للنواة وبذلك تتغير خواصها الكيماوية، وبهذه الطريقة قد تتحلل كل العناصر المشعة بالتوالي إلى عناصر أخرى أكثرها مشع أيضاً، وعلى ذلك فأكثرها مؤقت، ولكنها كلها أثقل الذرات المعروفة ابتداءً من اليورانيوم والثوريوم، وبعد توالي فقدان عدد من الجسيمات الألفية، تنقص كتل النوى تدريجياً حتى تصل إلى نواة الرصاص 208، ولكن الرصاص ثابت غير مشع ولا توجد ذرات أخف من الرصاص لها نشاط إشعاعي طبيعي، إلا بعض الشواذ القليلة الضعيفة.

ولقد كان هذا كله معروفاً حين دخل الانشطار النووي الميدان العلمي، والواقع أن وجود النشاط الإشعاعي الطبيعي بين أن نوى الذرات – هذه الذرات الثقيلة على الأقل– يجب أن تكون مشحونة بالطاقة المركزة لتقذف بمثل هذه الأشعة القوية، وبهذا يكون فهم النشاط الإشعاعي قد مهد الطريق لفهم الانشطار.

## النظائر المشعة:

ولكن الانشطار النووي زاد اليوم كثيراً من وجود وأهمية النشاط الإشعاعي؛ لأن الزوابع النووية الشديدة داخل "قلوب" المفاعلات تستطيع تحويل كل نوع من الذرات تقريباً إلى صورة مشعة، وهذا يتضمن طبعاً الأجزاء النووية لليورانيوم التي تتراكم في "قلب" المفاعل، والتي تتعرض وقتاً طويلاً لقذائف تيارات النيوترونات، التي تحوي ملايين النيوترونات في الثانية في كل سنتيمتر مربع، وقد تمتص النيوترونات أو تفقدها في مثل هذه

الاصطدامات، وبذلك تكسب أو تفقد جزءاً من كتلتها دون تغيير خواصها الكيمياوية، فتكون الذرات الناتجة نظائر لعناصر كيمياوية معروفة، وليس من الضروري أن تكون تلك النظائر المشعة، فللمائة عنصر المعروفة حوالي **1300** من النظائر، منها حوالي **800** ذات نشاط إشعاعي، ولذلك تسمى النظائر المشعة.

وإن تراكم هذه النظائر في المفاعل هو الذي يجعل "القلب" بل كل المواد في المفاعل "ساخنة" ، وصعبة المعالجة والتنقية بعد تشغيل المفاعل بعض الوقت، فإزالة النظائر المشعة والتخلص منها، من أهم مشاكل صناعة الطاقة النووية الجديدة لأن شدة الإشعاع تعادل ما ينبعث من أطنان من الراديوم، كما أنها فتاكة بكل كائن حي، ولذلك يجب الاشتغال بها عن بعد، خلف جدران ثقيلة تمتص الأشعة وتفصل المشتغلين عن المواد في جميع الأطوار، والمشكلة الأخيرة هي أين توضع هذه الفضلات غير النافعة حالياً، بحيث لا تضر أي إنسان الآن وبعد عدة قرون، وهي تدفن في الوقت الحاضر بعيداً في جوف الأرض، مع وضع علامات دقيقة تحدد أماكنها.

وتنتج نظائر مشعة مشابهة بكميات أقل بتفجير القنبلة الذرية، ويدفعها الانفجار عالياً في السماء فتنتشر فوق مساحة كبيرة من سطح الأرض، فتصبح مخففة لدرجة أنها لا تضر إلا بالقرب من مكان الانفجار نفسه.

ويأتي النشاط الإشعاعي من نظائر مختلفة تتفاوت فيما بينها من حيث "أمد الانتصاف" ، فيدوم بعضها ثوانٍ أو دقائق فقط، يكون نشاطه الإشعاعي شديد خلالها، ولكن جزءاً كبيراً من ذلك النشاط يزول بعد ساعة أو اثنين، ويقل النشاط الإشعاعي بعد يومين أو ثلاثة لتلاشي النظائر المشعة ذات أمد الانتصاف الذي يقاس بالساعات، أما الباقي فلا يزول إلا ببطء خلال سنين.

## استخدام الأشعة:

للنظائر المشعة التي تتكون كمخلفات من تشغيل المفاعلات فائدة قليلة في الوقت الحاضر، نظراً لصعوبة وتكاليف فصل ما لها من إشعاعات فعالة وآماد انتصاف طويلة مما يختلط معها من النظائر، ولكن منافع النظائر المنقاة الهامة ستزداد إذا ما انخفض ثمنها كلما انتشرت مفاعلات الطاقة النووية، فمن المحتمل إيجاد طرق غير باهظة التكاليف لتنقيتها، كما أن بيع النظائر المشعة سيزيد من دخل صناعة الطاقة، وقد أجرى معهد بحوث ستانفورد في الولايات المتحدة بحثاً لهيئة الطاقة الذرية، قدر فيه أنه يمكن إنتاج نواتج الانشطار غير النقية بسعر يتراوح بين سنتين ودولار "للكوري" الواحد، ولما كان "الكوري" عبارة كمية الإشعاعات التي يعطيها جرام واحد من الراديوم كان ثمنه فيما قبل 100,000 دولار، فهذا يدلنا على مدى تقدم النشاط الإشعاعي في العصر الحديث، وقدر نفس البحث أن النظائر المشعة النقية يمكن إنتاجها بأثمان تتراوح بين دولار واحد ومائة دولار

للكوري للواحد، وأنه يمكن الحصول على 30,000 كوري من كل رطل من مواد المفاعل المختلطة غير النقية.

فمثل هذه التكاليف ستضاعف كثيراً من التطبيقات الصناعية والتجارية للنظائر المشعة، وقد توطدت دعائم بعضها فعلاً مثل الاسترنشيوم المشع لتنشيط الفسفورات الوضاءة على عقارب الساعات، وإشارات الطرق وغيرها من العلامات، وله استعمال آخر في أجهزة تفادي خطر الكهرباء الاستاتيكية حيثما وجد خطر حريق من الشرارات الكهربائية (لأن الأشعة تجعل الهواء موصلاً للكهرباء). ويمكن استخدام السيزيوم المشع بسعر خمسة دولارات للكوري الواحد، محل أجهزة الأشعة في تصوير المعادن في الصناعة.

وربما كان أكبر تطبيق في المستقبل يستخدم ملايين من وحدات الكوري هو تعقيم الأدوية والأطعمة بدون حرارة، فبسعر دولارين للكوري يمكن للأشعة أن تعقم البنسلين مثلاً، الذي يلزم أن يكون خالياً من كل البكتريا ومصادر العدوى الأخرى ومع ذلك لا يمكن تسخينه لإبادتها، فيعرض للأشعة فترة قصيرة فيصبح معقماً دون أن يتأثر الدواء نفسه، ويمكن استخدام الأشعة بسعر 20 سنتاً للكوري في قتل طفيليات اللحم، أو لتعقيم اللحم المحفوظ في حين أنه يمكن استخدامها بسعر سنت واحد للكوري في تعقيم الخضروات، بحيث يمكن حفظها مكشوفة عدة أسابيع دون أن تتعرض للفساد.

## النظائر النقية:

لقد توفر عدد كبير من النظائر المشعة النقية منذ عدة سنوات، وذلك بإدخال كمية صغيرة من العنصر المطلوب أو أحد مركباته الكيمياوية في فرن نووي خلال فتحة أنبوبية، وبذلك يتعرض لقذائف النيوترونات للمدة اللازمة لتحويله إلى النظير المشع المطلوب (وتبلغ عادة بضع ساعات)، وبهذه الطريقة يمكن صناعة نظائر خاصة مختارة لخواصها الكيمياوية أو لإشعاعاتها الضعيفة الطويلة الأمد، أو لإشعاعاتها القصيرة الأمد الشديدة الأثر، ومن النظائر المشعة الثمانمائة المعروفة، نجد 140 نافعة ثابتة لدرجة تسمح بتخزينها للبيع، وستبحث استعمالاتها في البحوث الحيوية والطبية والزراعية والصناعية في الباب المقبل، ومنذ عام 1946 م أرسلت هيئة الطاقة الذرية الأمريكية أكثر من 35,000 شحنة من النظائر المشعة لتستخدم في حوالي 1000 معهد في الولايات المتحدة، وألفي شحنة إلى 250 معهدٍ في بلاد أخرى، وقد قامت المفاعلات الحكومية في إنجلترا وفرنسا وكندا والاتحاد السوفيتي بمثل ذلك.

ولقد استخدم الراديوم منذ أمدٍ بعيدٍ في علاج السرطان لأن أشعته القوية تبيد الأنسجة الحيوية إذا ما تعرضت لها لفترة ضئيلة، وقد بررت فائدته لهذا الغرض ارتفاع ثمنه إلى 100 دولار للمليجرام (أي 100.000 دولار للجرام) ، وإن كان من النادر أن يوجد بكميات تقارب الجرام، أما اليوم فقد حل محله الكوبلت المشع المصنوع في المفاعل، وثمنه خمسة دولارات للكمية التي تعادل في إشعاعاتها جراماً من الراديوم، كما أنه يمكن

الحصول عليه بكميات كبيرة، ويوجد في الولايات المتحدة مستشفى واحد على الأقل به مصدر يحوي من الكوبلت المشع، ما يعادل في إشعاعاته أكثر من رطلين من الراديوم، وهذا يعادل نصف مجموع ما أنتج من الراديوم في العالم كله، ويمتاز الكوبلت المشع عن الراديوم بميزة هامة هي أنه يمكن تشكيله إلى أي شكل مطلوب، كأقراص تستخدم خارج الجسم، أو أشكال معقدة لتستقر في مواضع مختلفة من الجسم، أو إبر أو حبات بأي حجم لإدخالها في الجسم، أو حتى خيوط الكوبلت والنايلون لإدخالها في السرطان، ويتم هذا التشكيل أولاً بنظير الكوبلت غير المشع، ثم يحول بعد ذلك إلى الكوبلت المشع بتعريضه للنيوترونات في المفاعل.

وتستخدم نظائر نقية أخرى في الطب بناء على خواصها الكيمياوية المعينة، فالغدة الدرقية مثلاً تمتص وتستخدم اليود، فيسكن فيها كل ما يأكل الإنسان من اليود أو يشرب، فإذا أعطي مريض مصاب بزيادة نشاط الغدة الدرقية كمية صغيرة من اليود المشع، فإنها تذهب إلى الغدة الدرقية حيث تقذف أشعتها البائية وتبيد عدداً كافياً من خلايا الغدة ليقل نشاطها غير العادي، وبالمثل يتراكم نظير من نظائر البورون في أحد أنواع أورام المخ، ويمكن جعله مشعاً هناك بتعريضه لفترة ضئيلة لشعاع من النيوترونات، فيبيد الورم الخبيث، ويستخدم الجسم مركبات الفسفور المعتاد لبناء أنسجة العظام، فإذا أعطي مريض فسفوراً مشعاً ذهب إلى عظامه أيضاً، وهنا يقلل إنتاج كرويات الدم الحمراء في مخ العظام، فيعالج مرض زيادة إنتاج تلك الكرويات، ولم تنجح حتى الآن الجهود التي بذلت لإيجاد نظير مشع يتركز في الخلايا السرطانية، رغم كثرة البحوث الموجهة

نحو ما يمكن أن يكون علاجاً بسيطاً للسرطان يبيد السرطانات الداخلية دون جراحة.

وكل تطبيقات النظائر المشعة التي ذكرت في هذا الباب، هي في الواقع تطبيقات لأشعتها القوية وتحتاج إلى كميات كافية لإحداث آثارها.

ويبحث الباب التالي استخدام النظائر المشعة بكميات ضئيلة جداً وإشعاعات ضعيفة جداً، تبلغ من القوة فقط ما يمكن من اكتشافها بالآلات الحساسة ولا تبلغ من القوة ما يجعل لها أي أثر، ولذلك تستخدم في "اقتفاء الأثر" في أنواع عديدة من البحوث.

# الباب السابع

# اقتفاء الأثر

## في الصناعة:

**دخلت كلمة "اقتفاء الأثر"، في لغة العلم لتعبر عن مقدرة النظائر المشعة للعناصر الكيمياوية الشائعة على الدلالة على وجودها، بأشعتها التي تمكن الباحث من تتبع أو اقتفاء أثر سيرها أو مغامراتها،**

سواء كانت في طيران ناموسة أو سريان بترول في خط أنابيب أو استهلاك ذرات الكربون، في قطعة من السكر خلال جسم الإنسان، وليس لهذه الظاهرة من الشبه باقتفاء آثار قذيفة أثناء انطلاقها، قدر ما لها من شبه بتتبع مغامرات جاسوس خلف خطوط الأعداء، أو مستكشف في الغابات، بالاستماع إلى قصته نفسه بواسطة جهاز إرسال لاسلكي متنقل، وقد ضاعف هذا الأسلوب الجديد في البحث من مقدرة الإنسان على مراقبة الأشياء والأحداث، التي لا تستطيع حواسه نفسها أن تكتشفها دون عون، كما فعل المجهر والمنظار والراديو.

وتتوقف الطريقة على أن كل العناصر الكيمياوية الشائعة تقريباً تمكن الحصول عليها الآن في شكل نظائر مشعة مناسبة، ومن هذه العناصر الكربون والفسفور والكبريت واليود وكثير من المعادن، ويدخل النظير في

نفس التفاعلات الكيمياوية بالضبط كالعنصر العادي، ولذلك يمكن إدخاله في أي عدد من المركبات الكيمياوية، ولذلك تستطيع الأوراق الخضراء مثلاً أن تستخدم ثاني أكسيد الكربون المشع في صنع السكر أو النشا، فيصبحان حينئذٍ مشعين إشعاعاً قليلاً، ويمكن أن تؤكل هذه الأطعمة ويقتفى أثر مصيرها في الطعام باستخدام أجهزة حساسة تحدد مصادر الإشعاعات، وتستخدم أكثر النظائر المشعة التي تنتج الآن في أمثال هذه البحوث الحيوية والطبية.

ولكن أبسط استعمال هو اقتفاء أثر التنقلات أو الأفعال الميكانيكية كالاحتكاك مثلاً، فنقل البترول ومنتجاته يتم عادة في خطوط أنابيب قد تبلغ من الطول مئات الأميال، ويمكن الآن استخدام نفس الخط لنقل أنواع مختلفة من المنتجات على التوالي: بنزين وزيوت تشحيم وبترول خام مثلاً، وللدلالة على نهاية نوع معين وبداية النوع الذي يليه، تحقن كمية صغيرة من نظير مشع يقبل الذوبان في البترول عندما يضاف الصنف إلى نهاية الخط البعيد وصول الأشعة التي تخترق جدران المواسير فتكتشفها الآلات، فيقوم المشرف بتعديل الصمامات ليفصل النوع الجديد الذي يلي ذلك ويرسله إلى الخزان الخاص.

ويقي تطبيق مماثل أيدي عمال الآلات من التعرض للخطر، فيلبس العامل "سواراً" في رسغه له نشاط إشعاعي ضئيل، ويكون للآلة جهاز اكتشاف للأشعة، فإذا أتت اليد إلى مقاربة الخطر، اكتشفت الآلة الإشعاعات وأضاءت أنوار التحذير أو أوقفت الآلة كلية.

وأكثر من هذا تطبيقات النظائر في البحوث، فلقد كان قياس درجة الاحتكاك في أجزاء الآلات وبالتالي دراسة كفاءة زيوت التشحيم، عملية طويلة غالية ذلك لأنها كانت تستلزم تشغيل الآلة مدداً طويلة، قبل أن يمكن اكتشاف ما يفقده معدن المكبس مثلاً بوزنه قبل إدارة الآلة وبعدها، أما إذا جعلت حلقة المكبس ذات نشاط إشعاعي ضئيل، فإنه يمكن اكتشاف وقياس التآكل باستخدام النظائر المشعة المتآكلة، في الدلالة على نفسها في زيت التشحيم، وهذا لا يؤدي فقط إلى إنقاص تكاليف البحث إلى درجة كبيرة، ولكنه يؤدي إلى الإسراع في إدخال التحسينات على المعادن والزيوت، واستخدام المعادن وزيوت التشحيم الجديدة الجيدة قبل ما كان متوقعاً بعدة سنوات.

ويمكن سرد مئات من الاستعمالات المشابهة، فقد اختبرت مقاومة التآكل في نعال الأحذية وشموع الأرض، ورصف الشوارع وإطارات السيارات والطلاءات والمسلح وكثير من المعادن، وكذلك حسنت طرق الطلاء بالفضة، وتحسن نوع وكفاءة الصابون والمنظفات ومعاجين الأسنان وأدوات الزينة، وأصبحت المشاكل المعقدة – كقياس مدى اختراق المواد الحافظة لعمود تلغراف أو غيره من الأعمدة الخشبية– بسيطة سهلة، وكل هذه أمثلة على اقتفاء الأثر تكشف فيها ذرات قليلة من النظير المشع ما يحدث لكل الذرات الأخرى؛ لأن هذه القلة تستطيع أن "تتحدث" بواسطة أشعتها.

### في الزراعة:

وقد أجريت بحوث مماثلة في الزراعة أكثر عدداً مما أجري في الصناعة، ولو عم استخدامها في العالم كله لأصبحت أكثر فائدة بكثير، فيواجه الفلاحون في كل مكان عدداً كبيراً من العوامل المجهولة حتى ولو كانت معلوماتهم عالية كاملة، ولذلك ما تزال كثير من طرقهم مبنية على المعرفة، ومن الأمثلة على ذلك استخدام الأسمدة، وهي عنصر رئيس في تكاليف إنتاج الأغذية، وهنا أثبت الفسفور المشع أنه هام جداً، فعندما يستخدم كسماد فوسفات فإنه يبلغ مباشرة عما يفعل النبات به.

وهكذا وجد الباحثون السويديون أن الفوسفات في أي سماد تمتصه جذور النبات بعد رشه على التربة مباشرة تقريباً، دون أي تأخير.

كما أثبت الباحثون الأمريكيون أن حشائش الرعي تمتص الفوسفات التي ترش على أوراقها وعلى هذا لا يكون هناك داعٍ للحرث، وكذلك وفر زراع الدخان والقطن كثيراً بعد اكتشاف أن هذه النباتات مع الذرة والبنجر تمتص الفوسفات فقط في أطوار النمو المبكرة، وأن الفوسفات تنعدم قيمته إذا ما استخدم بعد ذلك، وعلى العكس ثبت أن البطاطس تستفيد من سماد الفوسفات طوال مرحلة النمو كلها، كما أثبتت بحوث اقتفاء الأثر أن حمض الفسفوريك، إذا أضيف لماء الري كانت له نفس الآثار كالفوسفات الجافة إذا رشت على الأرض.

وخلال السنوات القليلة الماضية عاونت مواد كيمياوية الفلاح على إبادة الأعشاب والحشرات معاً، ولا تعرف حتى الآن آثارها على النبات أو

الحشرات، ويرجع أكثر هذا إلى أن كميات كثيرة جداً من الرش لها آثار فتاكة على هذين العدوين، ويؤمل الوصول إلى رش أفضل كنتيجة للدراسات الحالية التي تستخدم النظائر المشعة، فمثلاً نجد قاتلات الأعشاب مواد كيمياوية، تقتل الأعشاب العريضة الأوراق ومنها الحبوب، وقد ثبت الآن أن ذلك يرجع إلى سرعة امتصاص الرش في الأوراق العريضة وانتشاره في كل النبات في خلال ساعتين، في حين أنها تبقى في حالة أوراق الحشائش الأصلية في مكان رشها، ولا تنتشر إلى أي مكان آخر، وكمثال آخر نجد قاتلات الحشرات التي ترش على النباتات، فتقتل الحشرات التي تمتص عصارة تلك النباتات، وقد بينت دراسات النظائر المشعة، أن أمثال قاتلات الحشرات هذه تمتصها أوراق النبات فقط أثناء النهار، وتمتص من السطوح السفلى للأوراق فقط.

وحتى الذباب والناموس والجراد جعل مشعاً، بتغذيته على مواد تحوي النظائر المشعة، وبذلك فضحت عاداتها ونماذج طيرانها، نتيجة لتميزها وسهولة التعرف عليها، وقد أدى هذا بعد ذلك إلى تحسين طرق مكافحتها، وقد فسرت مقاومة بعض الحشرات لقاتلات الحشرات، بمقدرتها على تكسير الكيمياويات السامة إلى أخرى غير ضارة، وبذلك أوضحت الطريق لاستخدام سموم جديدة للحشرات أقوى من السموم المعروفة.

**في البحوث الحيوية:**

قام الدكتور ريتشارد شوبنهايمر بأول بحث استخدم فيه اقتفاء الأثر، وكان هذا في نيويورك قبل أن تتوفر النظائر المشعة، فقد استخدم نظائر الأكسجين والنيتروجين "الثابتة" ، وهي أثقل من الذرات المعتادة، ويمكن اكتشافها بأوزانها بطرق أعقد وأطول بكثير من طرق النظائر "المشعة" الحالية، ولكن هذا البحث أوضح الطريق لعدد أكبر من الدراسات التي تلت ذلك، فيما يتعلق بما يحدث في كيمياء جسم الإنسان والحيوان.

وقد أثبت الدكتور شوبنهايمر أن المواد التي يتألف منها الجسم في تغير وتبادل دائم، بحيث يتغير الجسم كله إلى جسم جديد كل 12 شهراً، فإذا أكلت الدهون لا تحترق مباشرة للحصول على ما بها من طاقة، ولكنها تترسب في الأنسجة الدهنية، في حين تستهلك دهون الجسم الموجودة فعلاً لإنتاج الطاقة، وكذلك بروتين الطعام يستخدم في بناء الأنسجة والعضلات والأعصاب، في حين يؤكسد البروتين القديم ويفرز من الجسم، وقد أكد استخدام النظائر المشعة هذه الحقائق في السنين الأخيرة وأضاف إليها، بحيث تأكدت الآن تماماً وأصبح من المعروف أنه حتى العظام يعاد بناؤها باستمرار، ويبدو أن ذرات الحديد في كريات الدم الحمراء هي الوحيدة التي تبقى في مكانها، وعلى هذا فكل إنسان أو حيوان يتغير كله – إلا حديد كريات الدم الحمراء– مرة كل عام على الأقل، فلا يبقى أي فرد كما هو طويلاً، ولم يحتفل الشعراء أو الفلاسفة بهذه النتيجة الآخذة بالألباب حتى الآن!

وقد أكد بحث حديث أجري على دجاج غذيَّ بغذاء يحوي نظائر مشعة هذا الاكتشاف وأوضح تفاصيله، فالدجاج لا ينتج البيض مما يأكل من طعام اليوم ولا مما أكل بالأمس، بل مما أكل منذ أكثر من شهر مضى، فبروتينات البيضة كانت بروتينات في جسم الدجاجة استخدمت لإنتاج البيض عندما لفظتها الدجاجة فقط واستبدلتها ببروتينات جديدة، ولكن هذا ليس صحيحاً بالنسبة لقشرة البيضة فعندما تكتمل البيضة وتصبح معدة للخروج من الدجاجة، توضع فوقها القشرة ويبنى من الكالسيوم الموجود في جزيئات أكلتها الدجاجة في نفس ذلك اليوم.

فهذه أمثلة من المعرفة الجديدة التي تأتي اليوم من المعامل الحيوية بمساعدة النظائر المشعة، ويتعلق أكثرها بتفاصيل غاية في التعقيد للعمليات الكيمياوية الحيوية التي تجري في الجسم الحي والخلية الحية، مما لا يمكن تفسيره بالتفصيل في كتاب بهذا الحجم، ولكن التفاعلات الكيمياوية العديدة التي تؤلف معاً عملية الحياة كانت حتى عهد قريب بعيدة عن متناول البحث العلمي، أما اليوم فيؤدي استخدام نظائر الكربون والهيدروجين وغيرهما من العناصر، إلى النظر في داخل أسرار العمليات الداخلية وتفاعلات الخلايا الحية، مما يبشر بفهم طبيعة عملية الحياة نفسها، والمجهر الذي علّم الإنسان كثيراً من تركيب الكائنات الحية، يعتبر آلة أولية سطحية إذا ما قورن بفن اقتفاء الأثر، فهو يدرس الخلايا لا الجزيئات، ويكشف عن الشكل لا الوظيفة.

## التشييد الضوئي:

وسنشير إلى مثال آخر، فالعملية الكيمياوية الأساسية التي تتوقف عليها كل الحياة هي تشييد مواد النبات في أوراق النباتات الخضراء، من ثاني أكسيد الكربون والماء بواسطة طاقة الشمس، فبدون هذا التفاعل لا يكون هناك نبات، وبدون النباتات لا يحصل الحيوان على أي طعام أي لا تكون هناك أي حياة، ويبدو هذا التفاعل بسيطاً ولكن لم يستطع أي إنسان أداءه أو حتى فهمه حتى الآن، فإذا فهم هيكله لكان من الممكن على الأقل تحسينه، وبذلك تزداد موارد الطعام الطبيعية اللازمة لسكان العالم المتزايدين بسرعة، وعلى أحسن تقدير يجب أن يكون من الممكن محاكاة التفاعل وصناعة الطعام من أشعة الشمس، دون تدخل الأوراق الخضراء، فالنباتات تستطيع استخدام أشعة الشمس وطاقتها ولكن كفاءتها ليست عالية بل إن أقل من 1% من الطاقة التي تسقط على حقل من القمح أو الحشيش تستخدم فعلاً في إنتاج الطعام، فهناك مجال كبير للتحسين ولمضاعفة موارد الطعام، وقد يصبح هذا حاجة حيوية ملحة في القرون المقبلة لمجاراة تضاعف البشرية.

ولذلك فمن المهم –وإن لم يكن من المُلح – استخدام طريقة اقتفاء الأثر في دراسة هذا التفاعل، وهذا يبحث فعلاً في كثير من معامل البحوث في كثير من البلاد، والنظير المشع للكربون سهل الصنع في المفاعل النووي، وعلى هذا فمن السهل أيضاً إنتاج ثاني أكسيد الكربون المرقوم، لاحتوائه على قليل من ثاني أكسيد الكربون ذي الكربون المشع، فإذا أدخل هذا في

هواء صوبة زجاجية أو ناقوس زجاجي فوق نبات ما، فإن الأوراق تمتص ذلك الغاز المشع دون تمييز بينه وبين النظير المعتاد الموجود في الجو، وبذلك تصبح هي نفسها مشعة، ثم يسهل تتبع مرور تلك الذرات المشعة من الورقة إلى الساق إلى الجذر، مما يؤكد في الحال أن النباتات تنبني من الهواء لا من الأرض.

ولكن الأهم أن تقسم الورقة كيمياوياً وتدرس أي مكوناتها الكيمياوية تحوي الكربون المشع أولاً، فتكون هي الخطوة الأولى في تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى السكر والنشا، والواقع أن هذا البحث لا يجري باستخدام أوراق معقدة، بل باستخدام نباتات خضراء أحادية الخلية مثل "الكلوريلا" وهي نوع من الطحالب، وهذه الخلايا تعمل بسرعة فبعد تمريضها لمدة دقيقة واحدة، تحوي خمسين مركباً على الأقل يكون الكربون المشع قد دخلها فعلاً، وبعد دقيقتين تحوي البروتينات والدهنيات المعقدة ذلك الكربون الجديد الذي وصل الخلية تواً من الجو.

وبعد التعرض لثاني أكسيد الكربون المشع وللضوء مدة ثانيتين فقط، يوجد بتلك الخلية مركبان أو ثلاثة فقط تحوي الكربون الجديد، وقد اتضح أنها أحماض فسفوجليسرينية معقدة، يبدو أنها موجودة في الخلية الخضراء لتأخذ ثاني أكسيد الكربون من الهواء والطاقة التي تمتص من الشمس بوساطة الكلوروفيل، وهذا ما عرف حتى الآن، وليس من الواضح بعد كيف ينفصل الأكسجين عن الكربون الموجود في ثاني أكسيد الكربون، وكيف يستخدم الكربون في بناء النبات، ولكن تفاعل الحياة

الأساسي هذا، البسيط في مظهره، المعقد في حقيقته يحلل الآن خطوة خطوة، ولا بد من أن يتضح في القريب وسوف يقص الكربون المشع القصة كلها عاجلاً أو آجلاً.

والنظائر المشعة تلعب أعظم أدوارها في دراسات علمية بحتة من هذا القبيل وهي نواتج ثانوية للانشطار النووي، فالناتج الرئيس هو الطاقة، والهدف الأول للمفاعلات الجديدة هو الطاقة اللازمة للتحسين المباشر لمستوى معيشة بني الإنسان، ولكن الناتج الثانوي هو الفهم العلمي لعمليات الحياة والعالم، وسوف تكون للمعرفة الجديدة بالنسبة للأجيال المقبلة وفي سجل التاريخ، نفس القيمة التي ستكون للطاقة الجديدة على الأقل، وربما كانت أقيم منها بكثير.

# الباب الثامن

# نظرة إلى المستقبل

## علم جديد:

**تدل هذه المقدمة الموجزة لمبادئ العلم النووي ولتطبيقات الطاقة والمواد الجديدة على أن لدينا هنا أكثر من اكتشاف علمي بسيط، فقد خلق علم جديد كامل أطلق عليه اسم علم "النوويات" ،**

تماماً كما سبق أن أطلق على دراسة الظواهر العديدة للإليكترونيات اسم "الإليكترونيات" ، وهو ليس مجرد فرع من الطبيعة ولكنه الوصلة – في مستوى الجذور– بين الطبيعة والكيمياء، وله فروع في علوم الحياة والآثار وطبقات الأرض والعلوم الكونية، وقد اعتبرت الذرة منذ نصف قرن مضى كأنها جسيم جامد لا يُخترق، باطنه لا يمكن معرفته، أما اليوم فالذرَّة عالم بنفسه ومن المؤكد أن نواتها – وهي أقل بكثير من الذرة – ليست نهائية، وإنما معقدة في مادتها، مركزَّة في طاقتها، وفي داخلها أسرار أخرى وخاصة سر كيفية تحول المادة إلى طاقة وربما العكس: تحويل الطاقة إلى مادة، فهل هي مجرد مظاهر مختلفة لحقيقة أعمق وأدق، هي المادة الحقة للوجود؟ وإلى أي حد يمكن للبحث أن يذهب إلى الداخل؟ إن أمثال هذه الأسئلة تبيّن أن علم النوويات ما زال في مهده وأن معرفة اليوم معرفة أولية فحسب.

ولهذا السبب فمن المهم التحقق من أن كل المفاعلات ما هي إلا مجرد تطبيقات هندسية ضخمة لما يعرفه العلم اليوم، وقد بني فيها من الجهل ما يعادل ما بني فيها من معرفة، فقد بنيت ووضعت نماذجها على حقائق وأفكار أتت من بحوث معملية أمكنها خلال خمسين عاماً أن تعرف كيف تخترق وتستكشف الذرة ثم النواة، ولم يستطع أي مستكشف أن يتخيل أي مفاعل حتى وضعت كل تلك المعرفة الجديدة معاً في نموذج واحد في عام **1940**م.

**آفاق دولية**:

إن الأحداث المتتابعة تكوِّن قصة دولية بدأت في عام **1895**م حين اكتشف رونتجن في ألمانيا الأشعة السينية التي تمر بسرعة خلال المواد الصلبة، وفي عام **1896**م اكتشف بكريل في فرنسا أن هذه الأشعة صادرة طبيعياً من اليورانيوم وصخوره، وفي عام **1898**م وجد بيير وماري كوري في فرنسا أيضاً مورداً أقوى لإشعاعات طبيعية معقدة في الراديوم، ثم أتى روذر فورد في كندا حيث فسر في عام **1902**م النشاط الإشعاعي بالتفتت التلقائي للذرات، ثم أثبت في إنجلترا في عام **1911**م أن الذرة يجب أن تكون لها نواة، وفي عام **1919**م كسر جزءاً واحداً من نواة النتروجين بقذفها بالجسيمات الألفية، وقد جمع بوهر في الدنمارك في عام **1913**م معتقدات روذر فورد عن الذرة النووية في نظرية دقيقة مفصلة، وأثناء ذلك نشر آينشتين في ألمانيا في عام **1905**م نظريته الرياضية عن

النسبية ضمنها فكرة تعادل المادة والطاقة، وبالتالي إمكان تحويل أيهما إلى الآخر، وقد تأكد ذلك عملياً على يد كوكروفت ووالتون في إنجلترا في عام 1932م.

وقد أسرعت خطى البحث حتى ابتكر لورنس في الولايات المتحدة في عام 1932م تلك الآلة الغريبة المسماة بالسيكلوترون، التي تكسب الهليونات والبروتونات وغيرها من الجسيمات النووية سرعات تعادل سرعة الضوء، وبذلك يستطيع قذفها بطاقة هائلة تجاه نوى آخر كأهداف لإحداث تفاعلات نووية، وقد أتت أكثر المعرفة الحالية عن هذه التفاعلات من عدة دول قبل أن يبني المفاعل النووي وحتى قبل أن يمكن تصميمه بوقت طويل.

وفي عام 1932م أيضاً اكتشف تشادويك النيوترون في إنجلترا وفي عام 1933م أنتجت أيرين كوري – ابنة مكتشفي الراديوم– وزوجها فردريك جوليو النظائر المشعة صناعياً لأول مرة، وفي عام 1934م استخدم فيرمي في إيطاليا النيوترونات التي اكتشفت حديثاً حينذاك لقذف النوى الذري، وفي النهاية استخدم هان وشتراسمان في ألمانيا النيوترونات في عام 1938م لقذف اليورانيوم، واكتشفا ليس فقط انكسار نواة اليورانيوم إلى قسمين رئيسين ولكنهما اكتشفا أيضاً الطاقة الهائلة التي تحملها تلك الأقسام، وفي خلال الأيام الأولى من عام 1939م قدر لاجئان ألمانيان في الدنمارك والسويد هما "فريش" و"ليس مايتنر" أهمية هذا الاكتشاف وسمياه

الانشطار النووي، وهكذا كان العالم مستعداً للعهد النووي، ولكنه كان لسوء الحظ مستعداً للحرب في نفس الوقت.

وعلى هذا فقد كان لتوافر العلماء الباحثين والتسهيلات اللازمة لبحوثهم في كثير من الدول الفضل في الحصول على المعلومات اللازمة تدريجياً كنتيجة طبيعية لرغبة العلماء في تفهم الذرة، ولقد كانت ضرورة الحرب هي الحافز على تلك البحوث، كما كان الفضل في توفير المواد اللازمة لمهارة الولايات المتحدة الهندسية والتنظيمية وقوتها الصناعية العظيمة، بالإضافة إلى شجاعتها في إنفاق آلاف الملايين من الدولارات على تجربة لم يسبق إجراؤها، وقد أدت هذه العوامل الثلاث إلى ضغط خمسين عاماً من التقدم الطبيعي في خمس سنوات، ففي عام 1945م برزت العلوم النووية وهندسة المفاعلات كاملة النمو إلى عالم مفزوع.

ولقد مرت الآن عشر سنوات من التطبيق العلمي، حُفظت نتائجها خلالها طي الكتمان، وملكاً سرياً خاصاً لقليل من الدول تحت ضغط الخوف وعكس ما تقتضيه روح العلم نفسه، أما الآن فقد تحقق الجميع في شتى أنحاء العالم بأنه وإن احتفظ بالأسلحة سراً حتى لا تنعدم قيمتها، فإن لعلم النوويات من الإمكانيات ما يفوق الأسلحة إلى درجة هائلة لا تقدر، ويمكن أن يكون كبيت الكنوز التي لا تنفد للإنسانية جمعاء.

وقد فتح المؤتمر الدولي للاستعمالات السلمية للطاقة الذرية الذي رعته ونظمته هيئة الأمم المتحدة في جنيف في أغسطس من عام 1955م الآفاق أمام هذه التطبيقات، وقد أضاف تبادل المعلومات الفنية والعلمية

أثناءه بين الأخصائيين من أكثر من خمسين أمة إلى موارد كل منها دون أن يقلل من موارد أي منها، ويلزم أن يؤدي التفاهم الدولي إلى التعاون الدولي في الميادين العلمية والفنية التي شملها مؤتمر جنيف.

**جهود الأمم المتحدة:**

يتوقف التعاون الحقيقي بين الحكومات في ميدان تنمية الطاقة النووية والعلوم النووية على ما ستقوم به الحكومات وهيئة الأمم المتحدة، وقد جاء في الخطاب التاريخي الذي ألقاه الرئيس أيزنهاور رئيس الولايات المتحدة أمام الجمعية العمومية لهيئة الأمم المتحدة في **8** ديسمبر من عام **1953**م:

"ليس توليد الطاقة السلمية من الطاقة الذرية حلماً من أحلام المستقبل، فقد ثبت إمكان ذلك والدليل موجود هنا الآن اليوم، وهل هناك من يشك في أنه لو أعطى لعلماء العالم ومهندسيه الكميات الكافية من المواد الانشطارية اللازمة لهم لاختبار وتنمية أفكارهم، لتحولت هذه الإمكانيات بسرعة إلى تطبيقات اقتصادية هامة في جميع أنحاء العالم؟"

"لذلك أتقدم بالاقتراح التالي: تبدأ الآن الحكومات المعنية الرئيسة في المساهمة بجزء من مخزونها – للدرجة التي يسمح بها سلامها الأولي– من اليورانيوم العادي والمواد الانشطارية الأخرى إلى وكالة دولية للطاقة الذرية تنشأ تحت رعاية الأمم المتحدة".

وقد قدم اقتراح في هذا الشأن إلى الأمم المتحدة من سبع دول هي:

استراليا وبلجيكا وكندا وفرنسا وجنوب إفريقيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة، ووافقت عليه بالإجماع اللجنة السياسية للأمم المتحدة في 23 نوفمبر سنة 1954م، ووافقت عليه الجمعية العمومية للأمم المتحدة كلها في ديسمبر سنة 1954م، وقد عبر القرار عن الأمل في "التعاون الدولي في تنمية ونشر التطبيقات السلمية للطاقة الذرية للمساعدة على رفع كابوس الفقر والجهل والمرض" ، ويقترح أنه عندما تنشأ تلك الوكالة الدولية فإنها تفاوض لوضع اتفاق مع الأمم المتحدة لتكون في وضع مشابه للوكالات المتخصصة الأخرى المرتبطة بتلك الهيئة، وقد طالب القرار نفسه السكرتير العام بدعوة المؤتمر الدولي للطاقة الذرية (الذي عقد في جنيف).

وفي هذا الاتجاه، وانتظاراً لما ستقوم به "الحكومات الرئيسة المعنية؛ لإنشاء تلك الوكالة أتمت الولايات المتحدة اتفاقات تعاون ثنائية مع بعض الحكومات، ففي 11 يناير من عام 1955م أعلن الرئيس أنه قد عقدت اتفاقات مع الأرجنتين والبرازيل وكولومبيا والدنمارك وإسرائيل وإيطاليا ولبنان وأسبانيا وسويسرا وتركيا، كما أعلن أنه – كسياسة عامة لمثل تلك الاتفاقات– تعرض الولايات المتحدة على الدول الأخرى مفاعلات للبحوث "لاكتساب الخبرة والمعرفة الضرورية للتقدم الذري السلمي، وتتكلف بنصف ثمنها، وتمد تلك الدول بالمواد النووية اللازمة كوقود للمفاعل، وكذلك بالتمرين على العمليات الفنية اللازمة لبناء وتشغيل تلك المفاعلات للأغراض السلمية.

وبعد أيام وقّعت الولايات المتحدة اتفاقات مع بلجيكا وكندا والمملكة المتحدة لتبادل المعلومات والتعاون في البحوث المؤدية إلى تنمية التطبيقات السلمية للطاقة الذرية وتشمل توليد الكهرباء من الذرة، وقد وقعت اتفاقات أخرى مع الصين واليونان وهولندا وباكستان والفلبين والبرتغال وفنزويلا، لذلك يبدو أن انتشار العلوم النووية وهندستها بين أمم الأرض في المستقبل القريب، وانتشار الطاقة النووية ومخلفاتها بعد ذلك قد أصبح من المؤكد قبل تكوين الوكالة الدولية للطاقة الذرية تحت رعاية هيئة الأمم المتحدة، وهكذا تتجمع عناصر القوة للعهد الذري.

وفي نفس الوقت وجدت الوكالات المتخصصة الحالية للأمم المتحدة – وأغراضها العامة تدعيم السلام وتحسين ظروف المعيشة لبني الإنسان– أن لها مصالح مباشرة وعليها واجبات إزاء التطورات النووية، والتي قد تحدث بسرعة تكفي لتسميتها تطورات ثورية، وقد بدأت ثلاث وكالات العمل فعلاً، وهي: منظمة الصحة العالمية، وهدفها الأول مكافحة المرض وتحسين الصحة العامة، ومنظمة الأغذية والزراعة، وهي تكافح الجوع وسوء التغذية، وتحسين الزراعة ومصايد الأسماك والغابات، ومنظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة (اليونسكو)، وهي تكافح الجهل وتعين على التعليم والبحث في كثير من الميادين.

## منظمة الأغذية والزراعة:

جاء في الباب السابع بعض الأمثلة على استخدام النظائر المشعة في ميدان الأغذية والزراعة، وقد بينت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة عدداً كبيراً من الاستعمالات الممكنة للإشعاعات والنظائر المشعة، وقسمتها إلى ثلاثة أبواب: ففي الصناعات الزراعية والغذائية يتضمن استعمال الأشعة في حفظ الطعام بتعقيمه بدون حرارة وخاصة السمك واللحوم، وتخزين الأغذية بكميات كبيرة كالحبوب وحفظها من التلوث بالحشرات.

أما في تربية النباتات والحيوانات فنستخدم أشعة النظائر في إحداث طفرات وراثية تسمح باختيار أنواع جديدة فائقة، ويعتبر هذا من أهم خدمات العلوم الذرية المتوقعة للزراعة، فقد أمكن فعلاً الحصول على أنواع محسنة من الحبوب والفول السوداني والبذور التي تلائم ظروفاً معينة من المطر وخصوبة الأرض، وبالإضافة إلى هذا فقد أدى اقتفاء الأثر إلى نتائج بارزة في بحوث إنتاج المحاصيل وتوليد الحيوانات ومصايد الأسماك والتغذية، وسيعم استخدامها أكثر وأكثر.

ومن الأهداف البعيدة سيؤدي توافر كميات أكبر من الطاقة الذرية بأسعار أقل من الأسعار الحالية، بتوليدها من المفاعلات النووية إلى آثار بعيدة في الإنتاج الزراعي والرخاء الريفي على وجه العموم.

فهذا سيقلل التكاليف ويحسن ظروف العمل ويرفع مستوى حياة سكان الريف، كما سيؤدي استخدام آلات نووية في سفن الصيد الكبرى، وأساطيل الحيتان إلى إكثار المحصول وإقلال النفقات.

وسيشجع الإكثار من الكهرباء ورخصها قيام صناعات صغيرة ريفية لاستغلال منتجات الغابات، وسيعين صناعات الورق الكبرى كذلك ويمكن التنبؤ بتأثير ثوري على المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية الكبرى، إذا مكّنت الطاقة النووية الرخيصة من إزالة أملاح ماء البحر لتستخدم في الري.

وبالإضافة إلى هذا تعنى منظمة الأغذية والزراعة بتلوث التربة والمياه والجو بالمنتجات والمخلفات المشعة في المستقبل البعيد، حين يعم استخدام المفاعلات النووية والنظائر المشعة.

ووظيفة منظمة الأغذية والزراعة تنمية التعاون الدولي في تنمية وتطبيق التقدم الفني، ومساعدة الحكومات على حل مشاكلها في هذه الميادين، وعلى هذا فالمنظمة مستعدة للنصح والمساعدة في إقامة مشروعات بحوث تعاونية منسقة، بما في ذلك معاونة الوكالة الذرية المقترحة ومنحها الأسبقيات الممكنة، ويمكن للمنظمة أيضاً أن تسهل نشر المعلومات عن استعمالات الطاقة الذرية والإشعاعات والنظائر، وعن نتائج بحوث التغذية والزراعة في تلك الميادين، وهذا يتضمن النواحي الهامة للمخاطر الذرية وإمكانات التلوث.

كذلك تهتم منظمة الأغذية والزراعة بالآثار المحتملة لمشروعات الطاقة الذرية على موارد التربة والمياه، وهي مستعدة لمساعدة الحكومات في برامجها للمحافظة على التربة والمياه واستغلالها من هذه الناحية، وفي النهاية تدرس المنظمات تطبيقات أنواع الطاقة الحالية في الزراعة، وربط

تلك الدراسات بالمشاكل التي ستصحب استخدام الطاقة الذرية في المستقبل.

## منظمة الصحة العالمية:

لمنظمة الصحة العالمية علاقة مباشرة باستخدام الإشعاعات والنظائر المشعة وخاصة في النواحي الدولية، التي لا تستطيع الدول المفردة معالجتها ويشمل البرنامج الحالي لتلك المنظمة موضوعين رئيسين متعلقين بالتطورات النووية:

الأول: مسألة وقاية الصحة من الأخطار المرتبطة بالمفاعلات النووية مثل تلوث المياه بالمخلفات السائلة، وتلوث الهواء بالمواد الطيارة وتلوث الأرض والبحر بالمخلفات الصلبة، ويرتبط مع هذا وضع مقاييس للمواد المشعة وقياس الإشعاعات الخطيرة قياساً دقيقاً، وتقدم المنظمة الخبرة اللازمة في هذه المسائل وتقوم بجمع ونشر المعلومات العلمية عنها.

والثاني: استخدام النظائر المشعة في العلاج والتشخيص والبحوث الطبية، وهنا تقوم منظمة الصحة العالمية بدور مركز لجمع وتبادل المعلومات، وستضع برنامجاً طويل الأمد لمعاونة الدول على تمرين العدد الكافي من الفنيين عن طريق المنح والمستشارين والرحلات الدراسية والمقررات التدريبية العالية.

## منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلوم والثقافة:

أما دور اليونسكو في العصر الذري فأكبر وأخطر من دور أخواتها من الوكالات المتخصصة الأخرى للأمم المتحدة، وذلك لأن العلم (وهو جزء من اسم الهيئة) يقع في أساس كل مشكلة في هذا العصر، ولأن تغيرات تعليمية وعلمية وثقافية لا بد وأن تتلوا المفاعلات النووية، عاجلاً أكثر من آجلاً، وعلى هذا فاليونسكو – نظراً لخصائصها المزدوجة: البحث والتعليم في كل من آفاق النشاط البشري الكبرى الثلاث التي تشملها العلوم الطبيعية والعلوم الاجتماعية والدراسات الثقافية – تواجه تحدياً سداسي الأوجه.

ومن الطبيعي مواجهة النواحي المباشرة أولاً – وهي المتعلقة بالعلوم– وقد تم هذا في الجمعية العمومية للأمم المتحدة، بجعل أول إجراء دولي مؤتمراً يعنى فقط بالنواحي العلمية والفنية للطاقة النووية، كما تم أيضاً في الجمعية العمومية لليونسكو لعام 1954م التي فوضت السكرتير العام في التعاون التام مع الأمم المتحدة مع الاهتمام بوجه خاص "بالدراسة العاجلة للمسائل الفنية المرتبطة بآثار الإشعاعات في الحياة بوجه عام، ونشر المعلومات الصحيحة عن كل نواحي التطبيقات السلمية للطاقة الذرية، ودراسة واقتراح الإجراءات الدولية اللازمة لتسهيل استخدام النظائر المشعة في البحوث والصناعة".

وكان أول عمل لليونسكو اجتماعاً للجنة من الخبراء من 12 دولة في يونيو من عام 1955م لدراسة وضع نظام للمقاييس، وقواعد تحضير

وتوزيع ونقل واستخدام النظائر المشعة والجزيئات التي تحويها، نظراً للأخطار التي تتضمنها إذا لم تراعى الاحتياطات الكافية.

وقد قدمت هيئة اليونسكو لمؤتمر جنيف للتطبيقات السلمية للطاقة الذرية بحثين: الأول ملخص لأنواع مفاعلات البحوث وتقدير مدى نفعها للجامعات في ضوء الظروف المحلية، وبالمقارنة مع أجهزة البحوث النووية الأخرى كالمولدات الاستاتيكية والسيكلوترونات، أما الثاني فكان عن تدريب الباحثين على التطبيقات السلمية للطاقة الذرية، ويوصي بأن تدرج الجامعات والمعاهد العليا في مقرراتها مراناً عملياً ونظرياً في مواضيع النشاط الإشعاعي والإليكترونات لمواجهة الاحتياجات الجديدة، أما المران المتخصص العالي مثل التمرين على تشغيل المفاعلات النووية، فيجب إعطاؤه في مدراس خاصة تنشئها المؤسسات النووية نفسها.

وهذان البحثان – وكلاهما موجه نحو تقدم البحث وكلاهما له أهميته الدولية – يدلان على مهمة اليونسكو في البحوث العلمية الطبيعية، ولقد سبق أن اتخذت اليونسكو إجراءاً لتنشيط البحث في العلوم النووية، وذلك بإنشاء مجلس أوروبي للبحوث النووية تحت رعاية اليونسكو، وقد وضع حجر الأساس لمركز بحوثه الجديد في جنيف في **10** يونيو عام **1955**م، ويتألف المجلس من مندوبين علميين عن **12** حكومة أوروبية هي: بلجيكا والدنمارك وفرنسا وألمانيا الغربية واليونان وإيطاليا وهولندا والنرويج والسويد وسويسرا والمملكة المتحدة ويوغوسلافيا.

وقد تمكنت هذه الدول – بتجميع مواردها في معهد واحد– من وضع الأجهزة العلمية الغالية أمام طلبتها وأساتذتها، لبحث الجسيمات النووية العالية للطاقة وتركيب النواة وطبيعة الأشعة الكونية، وليس لهذه الدراسات أي علاقة بالمفاعلات النووية أو بالتطبيقات الحاضرة للطاقة النووية، ولكنها بمثابة استكشاف على حدود المعرفة الحاضرة، ومن المؤكد أنها ستؤدي إلى اكتشافات أساسية عن طبيعة المادة وعن الطاقة، ستجد لها خلال عشر سنين أو عشرين عاماً تطبيقات لا يمكن التنبؤ بها في الوقت الحاضر، تماماً كما أدت البحوث الأوروبية بين عامي 1920 و1930 م إلى وضع أسس المفاعلات النووية التي نعرفها الآن.

ولكن الاهتمام العام بالطاقة النووية ومنافعها الاقتصادية المحتملة ستستتبعه احتياجات أبعد كثيراً عن نطاق البحث العلمي والدراسات الجامعية، ومن أول هذه الاحتياجات تنشيط تدريس العلوم في المدارس، وتنشيط التدريب الفني في كثير من أجزاء العالم، فحتى في الأمم الصناعية يوجد نقص شنيع في مدرسي العلوم الأكفاء، وسيخلق ظهور العصر الذري المفاجئ حاجة طارئة إضافية للتدريب ولتدريس العلوم في المدارس الثانوية ومعاهد التعليم للمدرسين، وتحسين تدريس العلوم في المدارس جزء من البرنامج المعتاد لليونسكو، وستوسع الآن خدماته وخاصة في البلدان المتخلفة، التي يمكنها أن تربح أكثر من غيرها من الطاقة النووية، وإن كانت نظمها المدرسية لم توجه بعد نحو العلم الحديث، ومن هذه الخدمات استخدام الوسائل اليدوية والبصرية في إدخال الحقائق والآراء المتعلقة بالطاقة النووية، والإشعاعات والمواد المشعة في تدريس العلوم بالمدارس.

ففي كثير من الأمم ستأتي الطاقة النووية مع كل ملحقاتها ونتائجها بسرعة لا تترك المجال للانتظار حتى يشب أطفال مدارسها إلى طور الرجولة، كما أن إنفاق أموال هائلة من مال الدولة يستلزم إفهام الجماهير مقدماً لضمان تأييدهم، كذلك يستلزم نجاح تطبيق نتائج البحث النووي في الطب والزراعة والصناعة فهماً واضحاً من جانب الجماهير، وأكثر من هذا كله، تستلزم النتائج الاقتصادية والاجتماعية للثورة البارزة الناشئة عن تلك الطاقة، كثيراً من بعد النظر من جانب الحكومة وإدماج العلم مع الثقافة المحلية إلى درجة كبيرة، فقد يتضارب التوسع في الاقتصاد النووي بالإكراه مع الثقافة غير العلمية تضارباً خطيراً.

ولذلك يعني هذا كله الحاجة إلى تعليم البالغين في كثير من الأمم مبادئ التفكير على الأقل، وقد عنيت اليونسكو منذ مدة بتلقين العلوم للبالغين عن طريق المعارض العلمية المتنقلة، وتشجيع أوجه النشاط العلمي خارج المدرسة، ونشر المقالات والمناقشات في الصحف والإذاعة والسينما، وستتضمن كل هذه الوسائل الآن تلقين مبادئ العلوم الطبيعية والنووية، كما يتضح من نشرات اليونسكو الحديثة ومن هذا الكتاب.

## تحدي العالم

ولكن ما ينتظر العالم في العصر النووي أكبر من مجال العلم، فقد أطلق عليه ونستون تشرشل "نقطة التحول في مصيرنا" – مصير البشرية – فالطاقة التي ستتولد ليست مجرد طاقة كهربائية، ولكنها اقتصادية

واجتماعية فتيار الإليكترونات الذي سيسري من محطات الطاقة، قد يصبح دم الحياة بالنسبة للشعوب المتأخرة، فقد يروي الصحاري، ويحيل موارد باطن الأرض إلى ثروات، ويزيد من الصحة والأعمار، وفي نفس الوقت يضاعف إنتاج الطعام، وقد يكون للطاقة النووية ونواتجها الثانوية آثاراً على تقدم السلم وتدعيمه، كما كان لآثار القنبلة الذرية على الحرب، ومن المعقول أن نتوقع تلك الآثار خلال عشر سنوات أو خلال عشرات السنين، ولكن تحدي البشرية يتلخص في بعد النظر والاستعداد حتى تكون النتائج لخير الأمم وحتى لا تضيع أو تتحول إلى أضرار، فإذا كانت تلك الطاقة الجديدة سلاحاً للسلم فإن تكتيكها في أيدي العلماء الأكفاء، ولكنها تحتاج إلى استراتيجية جديدة أيضاً في خطط الحكومات وفي المنظمات الدولية.

## تعاريف

**أشعة جيمية:**

أحد أنواع الأشعة الثلاثة التي تنبعث من المواد المشعة (انظر الجسيمات الألفية والبائية)، والأشعة الجيمية ليست جسيمات ولكنها إشعاعات كالأشعة السينية وأشعة الضوء، وطول موجتها أقل من جزء من ألف من طول موجة الأشعة السينية، وعلى هذا فهي أكثر مقدرة على النفاذ خلال الأجسام.

**أشعة كونية:**

أشعة تصل إلى الأرض من مصادر غير معروفة في الفضاء الخارجي تسري بسرعات عالية جداً، وطاقتها تعادل عدة آلاف الملايين من الفولتات، وهي تتألف من بروتونات ونوى ذرية أكبر من ذلك، وهي عادة تتحول باصطدامها في الجو الخارجي إلى أشعة كونية "ثانوية" ، تتألف من بروتونات وإليكترونات ونيوترونات وأشعة جيمية، وعدة أقسام نووية أخرى تعرف باسم الميزونات، وهي الآن تحت الدرس.

**أشعة سينية:**

أشعة تتولد عندما تندفع إليكترونات تحت ضغط كهربي عالٍ وبسرعة عالية في أنبوبة مفرغة ثم تقذف هدفاً، يصنع في المعتاد من التنجستين، وهي اهتزازات موجية تشبه في طبيعتها الضوء، ولكن طول موجتها جزء من ألف من طول أمواج الضوء المرئي، وهي لا تُرى ولكنها تستطيع اختراق عدة بوصات من المادة وتؤثر في ألواح التصوير كما يؤثر الضوء، وتزداد مقدرتها على الاختراق بازدياد ضغطها الكهربي، كما أن هذا يتوقف أيضاً على كثافة المادة التي تصطدم بها، ولذلك يمكن استخدامها لأخذ صور ظلية للتركيب الداخلي للمواد ولجسم الإنسان، وقد مكن اكتشافها بمحض الصدفة تقريباً في عام 1895م على يد رونتجن (الذي تسمى باسمه تلك الأشعة أيضاً) من اكتشاف الأشعة السينية الطبية على يد بيكريل في عام 1896م، واكتشاف الراديوم على يد كوري، الذي كشف النقاب بدوره عن داخلية الذرة، مما أدى في النهاية إلى العلوم الذرية.

**اقتفاء الأثر:**

تنبعث من النظائر المشعة لكثير من العناصر الثابتة الشائعة إشعاعات ضعيفة تسمى الأشعة البائية، يمكن بسهولة اكتشافها بآلات حساسة، فإذا خلطت تلك النظائر مع العنصر الشائع في مركباته، فإنها تصحبه طبيعياً وكيمياوياً في كل تفاعلاته وهذا يمكن – عن طريق أشعتها – من

استخدامها في تتبع المركب في كل تفاعلاته الكيمياوية، بما فيها تفاعلاته الحيوية المعقدة داخل جسم الإنسان أو الحيوان.

**انتشار:**

عملية اختلاط جزئيات غاز أو سائل بجزئيات غاز أو سائل آخر دون أي اختلاف في الضغط، لا يدفعها فقط إلا الاهتزاز الناشئ عن درجة الحرارة، فإذا أطلق غاز ما في هواء غرفة مثلاً فإنه يتسرب فيها كلها بالتدريج، وشدة الاهتزاز الحراري عند أي درجة حرارة معينة للجزيئات الصغيرة الكتلة، أعلى منها بالنسبة للجزيئات الثقيلة وهذا هو أساس طريقة فصل النظائر بانتشار الغازات خلال فتحات ضيقة.

**انشطار:**

انطلاق نواة ذرية ثقيلة – تحت ضغط نيوترون يقذف إليها– وانقسامها إلى أجزاء (نوى ذرية متوسطة الكتلة) تطير بعيدة عن بعضها بسرعة عالية، ويمكن اقتناص طاقتها في صورة حرارة، وينطلق أيضاً نيوترون واحد إلى ثلاثة نيوترونات بسرعة عالية، ويمكنها إحداث انشطار في النوايا المجاورة وبذلك يبدأ تفاعل متسلسل، والعناصر التي تقبل ذراتها الانشطار تسمى ذرات قابلة للانشطار، والأجزاء النووية الناتجة من تفاعل انشطاري، بعد

قذف النيوترونات الشديد تصبح مشعة جداً، وتسمى "نواتج الانشطار" وتحوى أنواعاً مختلفة من العناصر والنظائر.

**بنشيلند:**

أغنى خامات اليورانيوم، يتكون أساساً من أكسيده الأسود، ويوجد في تشيكوسلوفاكيا وكندا والكنغو البلجيكي.

**بروتون:**

جسيم أساسي يدخل في تركيب كل النوى الذرية، عليه شحنة كهربائية موجبة واحدة، ويحدد عدد البروتونات في النواة شحنتها الموجبة وبالتالي عدد الإليكترونات الموجودة في مجالاتها في المناطق الخارجية من الذرات، وتتألف الأشعة الكونية في الفضاء الخارجي أساساً من البروتونات.

**بلوتونيوم:**

عنصر كيمياوي كتلته 239 يتكون عندما يقذف اليورانيوم 238 الثابت بواسطة النيوترونات الناتجة من انشطار يورانيوم 235 في مفاعل نووي، وهو نفسه قابل للانشطار، كما أنه (مع يورانيوم 235) أحد الوقودين النوويين الرئيسين، ولا يوجد في الطبيعة لأنه مشع ونصف حياته

24.300 عاماً، فلو كان موجوداً في الأصل لتحلل وتلاشي خلال الأجيال الجيولوجية.

**تشييد ضوئي:**

تشييد مركبات كيمياوية تحت تأثير الضوء.

**تفاعل متسلسل:**

تفاعل كيمياوي يولد – إذا ما بدأ– كمية من الطاقة تكفي لاستمراره، وبذلك يستهلك كل الكتلة الموجودة، ومن أمثلته أي انفجار، ولكن التفاعل المتسلسل في التفاعلات النووية التي يسببها القذف بالنيوترونات، عبارة عن تفاعل ينتج فيه انشطار نواة واحدة بالنيوترونات التي تسبب انشطار النوى المجاور وبذلك يستمر التفاعل الانشطاري بسرعة عالية جداً.

**تفتت:**

تحول ذرات عنصر مشع تلقائياً إلى ذرات أخف نسبياً، مع انبعاث أشعة ألفية وبائية وجيمية.

**جزئ:**

أصغر جسيم في مركب كيمياوي يمكن أن يوجد مستقلاً، ويتألف من أعداد مختلفة من أنواع مختلفة من ذرات العناصر الكيماوية المختلفة، وتوجد الجزيئات مترابطة جداً معاً في البلورات الصلبة، ومتجاورة عن بعد في السوائل، ومنفصلة عن بعضها في الغازات.

**جسيم ألفي:**

أحد أنواع الأشعة الثلاثة التي تقذفها المواد المشعة (انظر الجيمات البائية والأشعة الجيمية) والجسيم الألفي هو كنواة ذرة الهيليوم، ويتألف من اثنين من البروتونات واثنين من النيوترونات مع شحنتين كهربيتين موجبتين.

**جسيم بائي:**

أحد أنواع الأشعة الثلاثة التي تقذفها المواد المشعة (انظر الجسيمات الألفية والأشعة الجيمية) وهو كالإليكترون، وله شحنة كهربائية سالبة واحدة، ولكنه ينطلق من النوى الذري بسرعات تقارب سرعة الضوء، وله مقدرة على النفاذ أكثر من الأشعة الألفية وأقل من الأشعة الجيمية.

**درع:**

وسيلة لوقاية المشتغلين بالإشعاعات الضارة من أنبوبة أشعة سينية أو مواد مشعة أو نواتج الانشطار أو عملية الانشطار في المفاعل، ويكفي للوقاية من الأشعة الألفية قفاز من المطاط، وللأشعة البائية أو الأشعة السينية العادية فوطة من الرصاص، أما للأشعة الجيمية النفاذة والنيوترونات المنبعثة من المفاعل فتلزم سبعة أقدام من الخرسانة.

**ذرة:**

وحدة التركيب الكيمياوي وأصغر جسيم في العناصر الكيمياوية، يمكنه الوجود مستقلاً، والذرات تتحد كيماوياً بإعداد وترتيبات مختلفة لتكوّن جزيئات المركبات الكيمياوية.

**سيكلوترون:**

آلة قوية تجبر فيها الجسيمات النووية المشحونة كهربائياً كالبروتونات على الحركة في حلزون أفقي بين قطبي مغناطيس كهربائي، وعلى استقبال دفعات كهربائية إضافية عند كل مرور حولها، بحيث تصل إلى سرعات عالية وتصبح ذات طاقة عالية، وتخرج في صورة قذائف قوية تستخدم لقذف النوى الذرية ودراسة التركيب النووي والتفاعلات النووية.

**قلب المفاعل:**

الكتلة النشيطة التي يحدث فيها الانشطار.

**كارنوتيت:**

خام هام من خامات اليورانيوم يحوي الفناديوم والبوتاسيوم أيضاً، ويوجد بكثرة كحجر أو مسحوق رملي أصفر.

**كوري:**

الوحدة القياسية للنشاط الإشعاعي، وهي كمية النشاط الإشعاعي لجرام واحد من الراديوم النقي.

**مبرد:**

أي مادة للتبريد وهي سائل أو غاز يمر حول قلب المفاعل أو خلاله للمحافظة على درجة الحرارة المنخفضة.

**مفاعل:**

"الفرن" الذي يتعرض فيه الوقود النووي للانشطار وتتحرر الطاقة النووية، ويتألف عادة من قلب ومهدئ وقضبان المراقبة والمبرّد والدرع.

**مفاعل مولّد:**

مفاعل ينتج من الوقود النووي أكثر مما يستهلك ويعمل لتوليد الطاقة، وهو يحول يورانيوم 238 بلوتونيوم 235 القابل بلانشطار وثوريوم 232 إلى يورانيوم 233 القابل للانشطار، وبهذا يحول العناصر غير القابلة للانشطار إلى وقود.

**مهدئ:**

مادة تستخدم في المفاعل النووي لإنقاص سرعة النيوترونات أثناء الانشطار إلى أفضل سرعة، تكون عندها أكفأ ما يمكن لإحداث انشطار إضافي وبذلك تحافظ على استمرار التفاعل المتسلسل.

**مونازيت:**

الخام الرئيس للثوريوم ويوجد كرمل بني أصفر في كارولينا الشمالية بالولايات المتحدة، وفي البرازيل وسيلان وترافانكور (بالهند).

**نشاط إشعاعي:**

مجموعة الظواهر الطبيعية والكيمياوية التي تصحب التفتت الذري.

**أمد الانتصاف:**

الفترة اللازمة لأي كمية من العنصر المشع لتقل إلى النصف، وذلك بالتفتت التدريجي لذراتها، وتختلف بالنسبة للعناصر المختلفة من جزء من الثانية إلى عدة آلاف من السنين.

**نظائر:**

أشكال ذرية مختلفة من نفس العنصر الكيماوي، لها نفس عدد البروتونات في النواة ونفس عدد الإليكترونات في سطحها الخارجي، ولذلك في كتلة نواتها ووزن ذراتها.

**نظائر مشعة:**

نظائر للعناصر الكيماوية غير ثابتة ولها نشاط إشعاعي.

**نواة:**

القلب الكثيف في مركز كل الذرات، قطره أقل من جزء من عشرة آلاف من قطر الذرة ويحوي كتلتها كلها تقريباً، ونواة الشكل المعتاد لذرة الهيدروجين عبارة عن بروتون واحد، ولكن كل النوى الأخرى تتألف من

بروتونات ونيوترونات مكدسة جداً معاً تربطها "طاقة رابطة" غير مفهومة حتى الآن.

**نيوترون:**

**جسيم رئيس متعادل كهربياً يدخل في تكوين كل نوى الذرات إلا الهيدروجين المعتاد (بروتيوم) ، وكتلته مثل كتلة البروتون تماماً تقريباً والنيوترونات هي السبب في الفرق بين كتل النظائر المختلفة، وتنطلق خلال الانشطار النووي ولذلك فهي العوامل النشيطة في الانشطار والتفاعلات المتسلسلة.**

**هيدروجين ثقيل:**

**الهيدروجين الطبيعي خليط من ثلاثة نظائر تعرف علمياً بأسماء بروتيوم وديوتيريوم وتريتيوم، ولكل من الثلاثة شحنة موجبة واحدة على نواته، وإليكترون خارجي واحد هو المسئول عن خواصها الكيمياوية المتشابهة، وتختلف في نواها فنواة البروتيوم (أو الهيدروجين المعتاد الذي يكون 99.98% من الهيدروجين الطبيعي) عبارة عن بروتون واحد – ونواة التريتيوم جسيم يساوي الديوتيرون ويحوي بروتوناً ونيوتروناً واحداً – ونواة التريتيوم تسمى التريتون وتحوي بروتوناً واحداً ونيوترونين، وعلى هذا فالأخيران لهما ضعف وثلاثة أمثال كتلة الهيدروجين المعتاد على التوالي،**

**وهما معاً يسميان (الهيدروجين الثقيل)، ولما كان أكسيد الهيدروجين هو الماء فأكسيد الهيدروجين الثقيل هو "الماء الثقيل".**

## قائمة بأهم المصطلحات الذرية الواردة في الكتاب

| | |
|---|---|
| Alpha particle | جسيم ألفي |
| Atom | ذرة |
| Beta particle | جسيم بائي |
| Breeder Reactor | مفاعل مولد |
| Chain Reaction | تفاعل متسلسل |
| Coolant | مبرّد |
| Core | قلب |
| Cosmic rays | أشعة كونية |
| Cyclotron | سيكلوترون – دوّار |
| Diffusion | انتشار |
| Disintegration | تفتت |
| Fission | انفلاق |
| Gamma rays | أشعة جيمية |
| Half-life | أمد الانتصاف |
| Isotopes | نظائر |
| Moderator | مهدّئ |
| Molecule | جزئ |
| Neutron | نيوترون |

| | |
|---|---|
| **Nucleus** | نواة |
| **Photosynthesis** | تشييد ضوئي |
| **Plutonium** | بلوتونيوم |
| **Proton** | بروتون |
| **Radioactivity** | نشاط إشعاعي |
| **Radiosotopes** | نظائر مشعة |
| **Reactor** | مفاعل |
| **Shield** | درع |
| **Tracing** | اقتفاء الأثر |
| **X–rays** | أشعة سينية |

# فهرس